

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO**

Luiz Angelo Daros de Luca

**PREVISÃO DE CARGA EM SISTEMAS DE
POTÊNCIA DURANTE FERIADOS
PROLONGADOS:
EFEITO DO FERIADO NA QUINTA-FEIRA SOBRE
A CARGA DA SEXTA-FEIRA**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Cláudio Magalhães de Oliveira

Florianópolis, agosto de 2008

**PREVISÃO DE CARGA EM SISTEMAS DE POTÊNCIA
DURANTE FERIADOS PROLONGADOS:
EFEITO DO FERIADO NA QUINTA-FEIRA SOBRE A
CARGA DA SEXTA FEIRA**

Luiz Angelo Daros de Luca

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação na área de concentração Sistema de Conhecimento e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

Banca Examinadora:

Frank Augusto Siqueira, Dr.
(Coordenador do Curso)

Cláudio Magalhães de Oliveira, Dr. Eng. (orientador)

Jacqueline Gisèle Rolim, Dra. Eng.

Raul Sidnei Wazlawick, Dr. Eng.

Silvia Modesto Nassar, Dra.

Aos meus pais,
meu irmão
e minha Tânia.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos que de alguma maneira contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. Sem o apoio de muitos, este trabalho não teria sido possível.

Ao orientador Cláudio Magalhães de Oliveira pela oportunidade de realizar este trabalho e pelas suas grandes contribuições ao longo do seu desenvolvimento. Agradeço pela disposição em me auxiliar e principalmente pela ajuda para melhorar a qualidade deste trabalho.

Aos meus pais Eládio e Maria Goreti, pois nada faria sem seu apoio desde sempre até hoje. Ao meu irmão Sandro que me apresentou e iniciou-me nesta fatídica carreira de “computeiro”, por seu apoio e exemplo. A minha cunhada Susi pela ajuda nos lapsos lingüísticos e atropelamentos de dedos.

A minha Tânia pelo amor e compreensão nas diversas noites que estive só, enquanto eu passava a madrugada na frente de um computador.

Ao professor Antônio Carlos Mariani pela infinita fonte de críticas construtivas que auxiliaram para a melhorar a qualidade deste trabalho. Ao professor Pedro Alberto Barbeta e a professora Silvia Modesto Nassar pela ajuda nos testes estatísticos. Ao Laboratório de Sistemas do Conhecimento (LSC) pelo abrigo e apoio durante a realização deste trabalho.

Ao antigos e atuais integrantes do projeto de previsão de carga (PCARGA) que, diretamente e indiretamente, foram fundamentais para a formação da base destes trabalho. A CELESC pelo financiamento do projeto de pesquisa PCARGA e pelo fornecimento dos dados históricos de carga.

Ao Tribunal Regional Eleitoral de Santa Catarina pelas políticas de incentivo ao ensino que permitiram a conclusão de cursos fundamentais para este trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação que proporcionou a realização deste trabalho, em especial a Vera Lúcia Sodré Teixeira (Verinha) pela compreensão aos problemas recorrentes de matrícula.

*Todo o homem que pensa que é insuficiente o que tem,
é um homem infeliz ainda que seja o dono do mundo
inteiro.
(Epicuro de Samos, 341-270 a.C.)*

Resumo

Para alguns setores da sociedade, feriados nas quintas-feiras são comumente alongados sobre a sexta-feira para prolongar o período de descanso até o final de semana. Esta mudança de comportamento da sociedade para este tipo de sexta-feira provoca uma mudança no comportamento da demanda por potência (carga ativa) em sistemas de energia elétrica em relação ao comportamento da demanda observada em sextas-feiras comuns. Este trabalho verifica a significância da alteração observada no comportamento da carga na sexta-feira seguinte a um feriado na quinta-feira, no Estado de Santa Catarina e propõe uma abordagem para a redução do erro de previsão da carga de curto prazo frente à esta situação. Os testes realizados mostram que a ocorrência de um feriado na quinta-feira provoca um efeito significativo sobre a média diária da carga da sexta-feira pós feriado no Estado de Santa Catarina. A solução proposta para a redução do erro de previsão da carga para a sexta-feira pós feriado ajusta a previsão realizada por um modelo de previsão de carga de curto prazo que não considera o fator “feriado na véspera”. A previsão do modelo que desconsidera tal fator é utilizada como entrada de uma rede neural artificial preparada para aplicar sobre esta previsão o efeito que um feriado na quinta-feira provoca sobre a carga na sexta-feira seguinte. Os resultados obtidos com a solução proposta mostram uma redução do erro percentual absoluto médio (MAPE) da previsão, inicialmente de 10%, situação em que o feriado na véspera não era considerado, para 2,5%, que é o valor do MAPE obtido para outras sextas-feiras comuns não influenciadas pelo feriado.

Palavras-chave: Previsão de carga, sistemas de potência, feriados prolongados, energia elétrica, séries temporais, redes neurais artificiais

Abstract

For some sectors of the society, holidays on Thursdays are commonly elongated over the following Friday to extend the rest period until the weekend. This change of the behavior for this peculiar Friday leads to a change in the electricity demand when compared to other common Fridays. This research verifies if this load behavior change for a Friday after a Holiday is significant in Santa Catarina State, and proposes a solution for reducing the error in load forecast when facing this situation. The tests show that the occurrence of a holiday on Thursday causes a significant effect on the daily load mean on the following Friday in Santa Catarina State. The proposed solution to reduce the forecast error on Fridays after holidays adjusts the forecasts generated by a short-time load forecasting model that does not consider the “eve is holiday” factor. This forecast from the model that disregard the holiday effect is used as input for an artificial neural network prepared to apply just the “eve is holiday” effect on the next Friday load curve. The results obtained with this solution show that the MAPE (mean absolute percentage error) is reduced from 10%, when “eve is holiday” is not considered, to 2.5%, which is close to the MAPE found in common nearby Fridays forecasts.

Keywords: Load forecasting, power systems, long weekends, electricity, time series, artificial neural networks

Índice de Figuras

Figura 1: Curvas de carga total em Santa Catarina das sextas-feiras de maio de 2007...	32
Figura 2: Curvas de carga entre quarta-feira e sábado da semana anterior até a semana posterior ao feriado.....	33
Figura 3: Área de concessão da CELESC em Santa Catarina.....	35
Figura 4: Gráfico da normalidade das diferenças das semanas.....	43
Figura 5: Gráfico dos resíduos por valor ajustado.....	44
Figura 6: Gráfico dos resíduos por ordem dos valores.....	44
Figura 7: Diferença entre as sextas-feiras seguinte ao feriado e da semana anterior a este	53
Figura 8: Esquema da rede neural artificial para a solução proposta.....	58
Figura 9: Curva da carga real e as previsões do sistema legado e da solução proposta para o dia 22/04/2005.....	60
Figura 10: Curva da carga real e as previsões do sistema legado e da solução proposta para o dia 27/05/2005.....	61
Figura 11: Curva da carga real e as previsões do sistema legado e da solução proposta para o dia 16/06/2006.....	62
Figura 12: Curva da carga real e as previsões do sistema legado e da solução proposta para o dia 08/09/2006.....	63
Figura 13: Curva da carga real e as previsões do sistema legado e da solução proposta para o dia 13/10/2006.....	64
Figura 14: Curva da carga real e as previsões do sistema legado e da solução proposta para o dia 03/11/2006.....	65
Figura 15: Curva da carga real e as previsões do sistema legado e da solução proposta para o dia 08/06/2007.....	66
Figura 16: Gráfico de probabilidade normal das diferenças do MAPE.....	69

Índice de Tabelas

Tabela 1: Cronograma para envio dos dados de previsão de carga para elaboração da programação diária da operação eletroenergética.....	25
Tabela 2: Análise da variância para os três conjuntos de sextas-feiras.....	42
Tabela 3: Resultado do teste de Tukey HSD entre os níveis do fator “Semana”.....	46
Tabela 4: MAPE entre o sistema legado e a solução proposta.....	67
Tabela 5: Teste t para significância da diferença entre o MAPE antes e depois da introdução da solução.....	70

Sumário

1 Introdução.....	12
1.1 Contextualização.....	12
1.2 Questões.....	15
1.3 Hipóteses.....	16
1.4 Objetivo.....	16
1.5 Justificativa.....	17
1.6 Metodologia.....	18
1.7 Abrangência do Trabalho.....	22
1.8 Estrutura do trabalho.....	23
2 Previsão de Carga.....	24
2.1 Introdução.....	24
2.2 Previsão de feriados.....	28
2.3 Previsão de outros dias afetados pelo feriado.....	29
3 Efeito sobre a sexta-feira.....	32
3.1 Introdução.....	32
3.2 Descrição dos dados.....	34
3.2.1 Problemas com dados.....	36
3.3 Teste estatístico.....	38
3.4 Conclusões.....	47
4 Previsão para sexta-feira pós feriados.....	49
4.1 Introdução.....	49
4.2 Modelo de previsão para a sexta-feira após o feriado na quinta-feira.....	54
4.3 Resultados.....	59
4.3.1 Sexta-feira após feriado de Tiradentes em 2005.....	60
4.3.2 Sexta-feira após feriado de Corpus Christi em 2005.....	61
4.3.3 Sexta-feira após feriado de Corpus Christi em 2006.....	62
4.3.4 Sexta-feira após feriado da Independência Nacional em 2006.....	63
4.3.5 Sexta-feira após feriado de Nossa Senhora Aparecida em 2006.....	64
4.3.6 Sexta-feira após feriado de Finados em 2006.....	65
4.3.7 Sexta-feira após feriado de Corpus Christi em 2007.....	66

4.3.8 Consolidação dos resultados.....	67
4.4 Conclusão.....	70
5 Considerações Finais.....	72
5.1 Conclusões.....	72
5.2 Contribuições.....	74
5.3 Sugestões para trabalhos futuros.....	74
5.3.1 Estudar o efeito do feriado prolongado com feriados na terça-feira.....	74
5.3.2 Efeito do feriado sobre os outros dias.....	75
5.3.3 Previsão para outras situações atípicas.....	76
6 Referências Bibliográficas.....	77

1 Introdução

1.1 Contextualização

A sociedade se desenvolveu utilizando a energia elétrica como uma de suas principais forças motrizes. Muitos equipamentos e ferramentas fundamentais para a manutenção dos hábitos atuais dependem primariamente do fornecimento de energia elétrica. Sua importância pode ser verificada em períodos onde a distribuição de energia é interrompida. Os serviços são mantidos precariamente aguardando uma retomada breve no fornecimento de energia elétrica. Todavia, quando essa ausência se prolonga, a falta de energia elétrica pode provocar graves prejuízos financeiros e, em casos extremos, riscos para a saúde e segurança. A região Queens de Nova Iorque, nos Estados Unidos, sofreu com uma interrupção prolongada no fornecimento de energia em julho de 2006. No auge da insatisfação popular, após mais de uma semana sem energia, surgiram ondas de violência e saques. Em um outro caso local, mais curto e menos desestabilizador, a ilha de Santa Catarina, onde situa-se a cidade de Florianópolis, permaneceu sem energia por três dias no final de outubro de 2004. Com a falta de energia elétrica, o comércio, a indústria, o governo e até mesmo a distribuição de água encanada tiveram seus serviços interrompidos. Apenas os poucos serviços que dispunham de geradores puderam permanecer em atividade.

A energia elétrica possui características peculiares que a diferem de outros recursos como a água e o gás. Atualmente, não é possível estocar energia elétrica pronta para ser distribuída ao consumidor em larga escala e de maneira eficiente. A energia deve ser gerada, distribuída e consumida ao mesmo tempo. As variações não previstas da carga (demanda por potência) no sistema elétrico tendem a provocar oscilações de tensão, as quais não são mais aceitas no ambiente atual de distribuição de energia (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2001). Essas oscilações de tensão podem danificar ou reduzir a vida útil de aparelhos sensíveis, especialmente os compostos por dispositivos eletrônicos.

A adequação entre a energia gerada e a consumida é obtida através de

previsões do comportamento da carga. Periodicamente, os agentes do sistema elétrico projetam a demanda futura de potência e de energia elétricas para auxiliar nos processos de compra e venda de energia, de planejamento e de controle da geração, dentre outros. As previsões podem ser classificadas de acordo com o horizonte futuro de previsão. Previsões de longo prazo projetam a demanda anos à frente e auxiliam no planejamento da adequação da infra-estrutura instalada. Previsões de médio prazo se alongam de meses até um ou poucos anos à frente e são utilizadas principalmente como referência para estudos de contingência, programação da manutenção e para as negociações de compra, venda e troca de energia entre os agentes do sistema elétrico. Previsões de curto prazo, de até uma semana, e de curtíssimo prazo, de até uma hora, são utilizadas principalmente para a operação do sistema elétrico. Através destas previsões de curto e curtíssimo prazo, os operadores podem avaliar a segurança do sistema elétrico, planejar operações de manutenção e de transferência e corte de carga emergenciais, e ainda realizar operações de compra e venda de energia no mercado de curto prazo. Os erros de previsão resultam em prejuízos financeiros aos agentes do sistema elétrico, além de poderem comprometer a segurança e a robustez da distribuição de energia elétrica.

A previsão da carga do sistema elétrico é baseada na relação dos consumidores com diversos fatores exógenos ao sistema elétrico, dentre eles fatores temporais, climáticos e sócio-econômicos. A carga de um mesmo dia da semana em semanas próximas é afetada por fatores similares e, por este motivo, suas curvas de carga são semelhantes. Uma sexta-feira tem geralmente uma curva similar a de outras sextas-feiras. No entanto, essa mesma curva diverge da curva de um sábado pois, nesta situação, o dia da semana, que emprega uma forte influência sobre a demanda de carga, não é o mesmo. Mudanças no clima, principalmente na temperatura, alteram o conforto térmico (SENJYU et al., 2005). Com o aumento da temperatura, aumentam os gastos envolvidos com refrigeração, enquanto que a queda na temperatura eleva o consumo de energia destinado ao aquecimento, principalmente pelo uso mais intenso do chuveiro elétrico. Alguns trabalhos mostram esta relação, não linear, entre o clima e a carga (HOR; WATSON; MAJITHIA, 2005), (RUZIC; VUEKOVIC; NIKOLIC, 2003). Esta e outras relações são observadas ao longo do tempo para que seja possível extrair os efeitos e as interações dos principais fatores que influenciam a carga. Como essa relação normalmente não se altera em um curto espaço de tempo, pode-se generalizá-la para

períodos futuros próximos ao observado. Projetando o comportamento dos fatores envolvidos na relação para um período à frente e utilizando esta relação extraída no passado, pode-se, então, gerar uma estimativa do comportamento da carga no futuro.

Diversas técnicas obtêm bons resultados para a previsão de carga de curto prazo em períodos onde os fatores e seus efeitos sobre a carga não sofrem fortes oscilações. Porém, quando ocorre a variação brusca de um dos fatores observados, ou a introdução de um novo fator desconhecido que afete significativamente o comportamento da carga, a estimativa de carga, utilizando a relação baseada no passado, torna-se não acurada (PARK et al., 1991). Situações com baixa frequência ou com ocorrência não periódica não possuem representatividade suficiente nos casos históricos utilizados para generalizar sua relação com a carga. Como as previsões são utilizadas na tomada de decisões, sua falta de exatidão pode levar a ações inadequadas, produzindo falhas na segurança operacional e prejuízos financeiros e sociais.

Dentre as situações de anomalia enfrentadas na previsão de carga, destaca-se a ocorrência de feriados. Nos feriados, grande parte do comércio, indústria e serviços não realizam suas atividades. Isso provoca uma mudança no comportamento da curva de carga e uma redução na demanda de energia elétrica. Apesar de o feriado ser uma situação conhecida e deterministicamente detectável, estes não são frequentes ao longo de um ano. Isto dificulta a composição de um conjunto de dados representativo dessa situação. Além da mudança no comportamento no feriado, em algumas situações, a sua ocorrência pode afetar também a carga de dias próximos. Feriados especiais como o Natal, a Páscoa (CHICCO; NAPOLI; PIGLIONE, 2001) (LAMEDICA et al, 1996), e as festas de Ano Novo (KIM; YOUN; KANG, 2000) podem modificar a curva da carga. Estes feriados especiais ocorrem poucas ou mesmo uma única vez em um ano. Pela sua baixa frequência, essas situações provavelmente seriam consideradas pela solução de previsão como anomalias ou oscilações aleatórias e assim ignoradas na explicação da carga. A solução para melhorar a exatidão da previsão normalmente envolve a criação de mecanismos de previsão que tratam separadamente estes casos especiais das situações corriqueiras.

Há na sociedade brasileira a cultura de alongar feriados comuns quando estes ocorrem próximos aos finais de semana. Os feriados em quintas-feiras são prolongados

sobre a sexta-feira subsequente para emendá-lo ao sábado e, conseqüentemente, ao final de semana. O mesmo ocorre em feriados nas terças-feiras onde o feriado também é alongado sobre a segunda-feira imediatamente anterior. Assim, dependendo do dia da semana em que esse ocorre, um feriado comum pode afetar o comportamento da carga dos dias próximos assim como ocorre com a Páscoa e o Natal. Porém, nem todos os setores da sociedade adotam este alongamento. Os setores de instituições de ensino e governamentais são os principais praticantes dessa cultura, enquanto setores como comércio e serviços dificilmente prolongam o feriado. Por esta redução em algumas atividades, a sexta-feira seguinte a um feriado na quinta-feira apresenta características próprias. Com menos serviços sendo prestados, a demanda de energia elétrica fica abaixo da demanda em um dia comum. Porém, ainda assim, existem mais serviços operando do que no feriado ou no final de semana. Estas sextas-feiras e segundas-feiras imediatamente próximas ao feriado não são semelhantes a dias comuns, onde todos os serviços são mantidos, e nem a finais de semana e feriados onde a interrupção dos serviços é maior.

Os feriados de Natal, Páscoa e Ano Novo possuem uma recorrência anual e ocorrem todos os anos em épocas próximas. Assim, a explicação da carga nesses dias pode ser baseada não mais nas semanas anteriores próximas mas sim em função de anos anteriores. Contudo, os feriados prolongados não dependem de qual feriado ocorreu mas sim o seu dia da semana. A maioria dos feriados possui data fixa e altera o seu dia da semana a cada ano. Apenas os poucos feriados que seguem o calendário lunar ocorrem sempre no mesmo dia da semana. Como diferentes feriados são prolongados a cada ano, não se pode utilizar a recorrência anual para auxiliar na explicação do comportamento da carga. Um mesmo feriado pode levar até seis anos para repetir o mesmo dia da semana e, pela mudança no comportamento dos consumidores ao longo dos anos, pode este não ser útil para auxiliar na explicação da demanda.

1.2 Questões

Diante da característica de alongamento dos feriados e em relação à previsão de carga nestas situações, são levantadas as seguintes questões:

- i. Assumindo que a ocorrência do feriado próximo ao final de semana altera o comportamento de alguns setores da sociedade no dia entre o feriado e o final de semana, o efeito desta mudança de comportamento sobre a carga total do sistema de potência de uma distribuidora de energia elétrica é significativo?
- ii. Considerando que o efeito do feriado sobre a carga descrito na questão anterior é significativo, seria possível o emprego de um método capaz de produzir previsões de carga mais precisas que as obtidas em um modelo que não considere este fator?

1.3 Hipóteses

A partir da premissa de que os feriados prolongados afetam o comportamento de alguns setores da sociedade no dia entre o feriado e o final de semana e das questões levantadas anteriormente, expõe-se a seguinte hipótese:

- As mudanças na rotina de alguns setores da sociedade no dia entre o feriado e o final de semana alteram significativamente a curva de carga do sistema de potência de uma distribuidora de energia elétrica.

1.4 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo geral reduzir os erros de previsão de carga de curto prazo para dias situados entre feriados e finais de semana onde, para alguns setores da sociedade brasileira, ocorre o fenômeno do feriado prolongado.

São objetivos específicos deste trabalho:

1. Verificar, através do teste das hipóteses apresentadas, se a ocorrência de um feriado próximo ao final de semana afeta significativamente o comportamento da carga do dia entre este e o final de semana;

2. Mostrando-se válida a hipótese de trabalho, propor uma solução para previsão de curto prazo da curva de carga do dia entre o feriado e o final de semana;
3. Avaliar a solução proposta identificando se esta produz resultados mais precisos que um modelo que não considera a mudança de comportamento da carga no dia entre o feriado e o final de semana.

1.5 Justificativa

As previsões de carga de curto prazo são importantes para os agentes do sistema elétrico. As previsões ajudam a planejar com maior segurança a operação e manutenção dos sistemas de potência. Além de úteis na operação, as previsões de curto prazo também têm aplicabilidade no ajuste de curto prazo dos contratos de energia entre os agentes do sistema elétrico. Previsões de baixa qualidade podem levar a tomadas de decisão imprecisas que resultem em riscos operacionais e prejuízos aos agentes do sistema elétrico.

Em alguns trabalhos, como Chicco, Napolli e Piglione (2001), Lamedica, et al. (1996), é mostrado que grandes eventos como Natal e Páscoa afetam não apenas o dia do feriado como os dias próximos a este. Isso também pode ser observado no feriado de ano novo lunar da sociedade oriental (KIM; YOUN; KANG, 2000). Esses dias próximos ao feriado apresentam um comportamento peculiar, mesclando o comportamento apresentado em dias comuns, afastados do feriado, com o comportamento observado em feriados. Esta alteração de comportamento mostra-se crescente na medida em que se aproxima o dia do evento. Esses dias especiais, apesar de anualmente recorrentes, possuem casos difusos para permitir a absorção de seu comportamento. Uma das formas utilizadas para melhorar a acurácia da previsão destes períodos de grandes eventos, como o Natal e a Páscoa, é através do uso de informação sobre sua recorrência anual. Apesar de ser uma situação com poucas amostras recentes, estes eventos ocorrem todos os anos na mesma época, possibilitando que o comportamento do ano anterior em conjunto com a tendência atual seja utilizado como

referência para projetar a demanda futura.

A ocorrência de feriados oficiais no Brasil pode afetar os dias próximos mesmo não se tratando dos períodos especiais como o Natal e a Páscoa. Um feriado próximo ao final de semana pode ser prolongado sobre o dia entre o feriado e o final de semana para formar um longo final de semana, popularmente conhecido como “feriadão”. Como alguns setores da sociedade mudam seu comportamento diante desses casos, é esperado que isto influencie na demanda de energia elétrica. Não considerar tais eventos nos modelos de previsão pode levar a desvios entre a demanda prevista e a ocorrida. Entretanto, ao contrário dos períodos natalino e pascal, esses finais de semana prolongados não são recorrentes ao longo dos anos. Exceto por alguns feriados que seguem o calendário lunar, os feriados prolongados ocorrem para feriados diferentes a cada ano. Por este motivo, as técnicas propostas por Chicco, Napolli e Piglione (2001), Lamedica, et al. (1996) de observar o efeito de um mesmo feriado no ano anterior não são adequadas para a previsão dos feriados prolongados, a exemplo dos brasileiros.

Os modelos de previsão de carga tendem a uma perda na sua acurácia em situações anormais, caracterizadas por uma baixa frequência de ocorrências ao longo de um ano. Como já comentado anteriormente, erros nas previsões de carga podem resultar em decisões imprecisas, ocasionando prejuízos: financeiros, materiais e sociais. Este trabalho justifica-se pela ausência de estudos do impacto de um feriado prolongado, como um feriado de quinta-feira, sobre o comportamento carga do dia útil que se segue (sexta-feira).

1.6 Metodologia

Este trabalho foi dividido em duas grandes etapas. A primeira etapa verifica se o comportamento da carga de um dia entre o feriado e o final de semana é afetado significativamente pela ocorrência do feriado na véspera. A partir da identificação da significância deste fator, a segunda parte do trabalho apresenta uma proposta de especialização para os modelos de previsão de carga de forma a reduzir os erros de previsão nestas situações.

Para identificar se a sexta-feira seguinte ao feriado na quinta-feira foi afetada significativamente pela ocorrência do feriado, é necessário comparar sextas-feiras sem o efeito do feriado, grupo de controle, com sextas-feiras influenciadas pelo feriado na véspera, grupo caso. Por se tratar de uma variável não controlável, não é possível observar a carga da sexta-feira após o feriado sem a influência do mesmo. Contudo, pode-se utilizar estimativas para suprir a falta do grupo de controle do teste.

Os fatores que influenciam a carga de um dia qualquer são semelhantes aos fatores que influenciam o mesmo dia da semana nas semanas anterior e posterior próximas, salvo em caso de alguma situação de anormalidade como a entrada no horário de verão, uma mudança brusca na temperatura ou a ocorrência de um feriado. Essa característica é um dos principais motivos que possibilitam a obtenção de previsões de carga de curto prazo acuradas. À medida que as semanas se afastam, os mesmos dias da semana tornam-se cada vez mais divergentes pois a sazonalidade anual torna-se mais forte. Desta maneira, as sextas-feiras das semanas anterior e posterior à semana do feriado são boas estimativas de qual seria o comportamento aproximado típico da sexta-feira após o feriado caso este não tivesse ocorrido. Se as sextas-feiras da semana anterior e posterior à semana do feriado são livres de fatores anormais, pode-se utilizá-las como os elementos do grupo das sextas-feiras após o feriado antes da suposta aplicação do fator “feriado na véspera”.

Alguns testes estatísticos permitem demonstrar a significância de um efeito sobre o comportamento de uma variável como as variações do teste t e da análise de variância. Dentre estas variações, o teste t para dados pareados (BARBETTA, 2006) e a análise de variância para medidas repetidas (MONTGOMERY, 2005, p. 590-592) são ferramentas adequadas para estudar problemas onde é possível observar cada elemento de um grupo sobre diferentes níveis de um fator. Ao contrário de testes onde as amostras são independentes, aproveitar a paridade entre os dados faz com que se possa isolar a variação entre os elementos e reduzir o erro amostral. Assim, pode-se obter resultados mais confiáveis com uma amostra menor. O teste t para dados pareados é adequado para estudos com um único fator em estudo, observando este em apenas dois níveis. Para os casos que necessitem de uma comparação entre mais fatores ou mais níveis destes fatores, a análise da variância é indicada.

A média diária da carga de sextas-feiras anterior ao feriado (C_{s-1}), na semana do feriado (C_s) e posterior a este (C_{s+1}) foram comparadas observando o fator “semana” sobre repetidas situações (feriados). Pelo fato do fator “semana” possuir três níveis em casos repetidos, optou-se pelo uso da análise da variância com medidas repetidas. O teste avalia a existência de uma diferença significativa para sextas-feiras próximas a um mesmo feriado. Assim, são levantadas as seguintes hipóteses:

- H'_1 : A carga das sexta-feiras nas semanas anterior, posterior e da semana do feriado na quinta-feira não são significativamente diferentes;
- H'_2 : A carga das sexta-feiras nas semanas anterior, posterior e da semana do feriado na quinta-feira são significativamente diferentes.

Refutando H'_1 , afirma-se que existe diferença estatisticamente significativa entre as cargas médias das sextas-feiras “ C_{s-1} ”, “ C_s ” e “ C_{s+1} ”. Todavia, ainda não é possível afirmar se esta diferença foi causada pela ocorrência do feriado ou por um fator externo qualquer. Para responder esta questão, foi realizado um teste de Tukey que compara diferentes níveis dos fatores tratados na análise da variância (MONTGOMERY, 2005, p. 97). Verificando os níveis isentos da influência do feriado, “ C_{s-1} ” e “ C_{s+1} ”, pode-se estudar a significância dos fatores exógenos à pesquisa. Desta maneira, foram levantadas as seguintes hipóteses:

- H''_1 : A carga das sexta-feiras nas semanas anterior e posterior à semana do feriado na quinta-feira não são significativamente diferentes;
- H''_2 : A carga das sexta-feiras nas semanas anterior e posterior à semana do feriado na quinta-feira são significativamente diferentes.

Não conseguindo refutar H''_1 , a hipótese de que as cargas médias de “ C_{s-1} ” e “ C_{s+1} ” são significativamente diferentes (H'_2) é rejeitada. Como foi identificada uma diferença significativa entre os três conjuntos de semanas no primeiro teste e não identificada entre os grupos “ C_{s-1} ” e “ C_{s+1} ”, é esperado encontrar esta diferença entre “ C_{s-1} ” ou “ C_{s+1} ” e “ C_s ”. Ainda utilizando o teste de Tukey, foram realizadas comparações entre “ C_{s-1} ” e “ C_s ”, e entre “ C_s ” e “ C_{s+1} ”. Levantou-se, assim, as

seguintes hipóteses:

- H_0''' : A carga da sexta-feira na semana anterior e posterior à semana do feriado na quinta-feira não são significativamente diferentes da sexta-feira seguinte ao feriado;
- H_1''' : A carga da sexta-feira na semana anterior e posterior à semana do feriado na quinta-feira são significativamente diferentes da sexta-feira seguinte ao feriado.

Sendo H_0''' refutada, aceita-se H_1''' . Assim, é identificada uma diferença significativa entre a carga média da semana “ C_s ” e as cargas das demais sextas-feiras. Esta diferença da média em relação aos outros níveis é fruto de algo específico do fator “semana” em “ C_s ”. Como a ocorrência do feriado é o único fator conhecido que difere “ C_s ” de “ C_{s-1} ” e de “ C_{s+1} ”, aceita-se que a diferença foi causada pelo feriado na véspera. Assim, o efeito de um feriado na quinta-feira sobre a carga média da sexta-feira seguinte passa a ser considerado significativo.

Uma vez detectado que o fator “feriado na véspera” é importante para explicar o comportamento da carga na sexta-feira seguinte ao feriado, os modelos de previsão que não considerem tal fator provavelmente terão uma perda significativa na acurácia da previsão diante destas situações. Justifica-se, então, o esforço para buscar alternativas que melhorem a acurácia da previsão para estas sextas-feiras. Assim como outras situações de exceção, entre elas os feriados, a previsão para esta situação pode ser tratada isoladamente para que o mecanismo de previsão não considere o fator “feriado na véspera” como insignificante ou uma anomalia nos dados.

A baixa frequência de ocorrência dos feriados prolongados, associada à sazonalidade anual do comportamento da carga, torna inviável uma amostra representativa que permita reproduzir os efeitos comuns de fatores como dia da semana, hora do dia e demais fatores exógenos e também compreender a influência do fator “feriado na véspera”. Assim, neste trabalho foi proposto um modelo de previsão, utilizando uma rede neural artificial, para absorver apenas o efeito do “feriado na véspera” e não a interação entre todos os fatores que influenciam o comportamento da carga. O tratamento dos demais fatores foi delegado a um sistema de previsão já

existente e preparado para situações de previsão convencionais. Para a previsão da sexta-feira seguinte ao feriado, o modelo proposto aplica o efeito da ocorrência do feriado na previsão que não considerou o feriado na véspera. No modelo, uma de suas entradas é a previsão do sistema legado e a saída, a carga esperada para a sexta-feira para o mesmo instante da previsão de entrada. Os resultados obtidos pelo modelo proposto foram confrontados com previsões realizadas pelo sistema legado, que não considera a ocorrência do feriado. A validação do modelo proposto foi realizada através de um teste t para dados pareados, verificando se o ajuste aplicado pelo modelo proposto na previsão obtida pelo sistema legado resulta em uma melhoria significativa na acurácia da previsão em uma sexta-feira seguinte a um feriado.

1.7 Abrangência do Trabalho

Este trabalho tem como objeto de estudo o efeito de um feriado na quinta-feira sobre o comportamento da carga na sexta-feira seguinte, no Estado de Santa Catarina. Acredita-se que este efeito seja similar ao efeito de um feriado na terça-feira sobre o comportamento da carga na segunda-feira anterior a este. Entretanto, na amostra de dados disponível, de janeiro de 2003 a julho de 2007, os feriados na terça-feira se mostraram mais raros que os feriados na quinta-feira, tornando o tamanho da amostra pequeno para um estudo isolado da segunda-feira anterior ao feriado. Diante deste cenário, optou-se por não incluir neste trabalho o estudo do efeito do feriado na terça-feira sobre o comportamento da carga na segunda-feira anterior a este, evitando com isso que características específicas dessas segundas-feiras afetem as conclusões da pesquisa.

O objeto de estudo foi o efeito do feriado da quinta-feira sobre o comportamento da carga da sexta-feira seguinte ao mesmo. Porém, a ocorrência do feriado na quinta-feira pode afetar a demanda de energia elétrica desde a quarta-feira à noite até o sábado ao meio dia. Muitos consumidores que viajam nos feriados prolongados o fazem já na quarta-feira à noite, podendo, então, afetar a carga de regiões residenciais principalmente aquelas habitadas por estudantes. O período matutino do sábado também é utilizado por algumas instituições de ensino como um período letivo.

Entretanto, na ocorrência de feriados na quinta-feira, tanto as aulas da sexta-feira quanto as do sábado podem ser canceladas. Desta maneira, essa mudança no comportamento dos consumidores pode afetar a demanda de energia elétrica em outros dias além da sexta-feira seguinte. Estas duas situações também estão fora da abrangência deste trabalho.

Este trabalho também não estuda as previsões para o dia do feriado. Apesar de o dia do feriado ser uma situação peculiar que necessita de tratamento especial, o tratamento desta situação está fora do escopo deste estudo. Finalmente, além do próprio feriado, outros dias integrantes do feriado prolongado podem necessitar de tratamento especial, porém tais situações também não serão abordadas neste trabalho.

1.8 Estrutura do trabalho

O trabalho está organizado em cinco capítulos. O primeiro capítulo, Introdução, apresenta o problema, objeto deste estudo, e seu contexto. Apresenta ainda as questões e hipóteses de trabalho, os objetivos estabelecidos, a justificativa para tal empreendimento, a metodologia adotada para atingir tais objetivos, a abrangência estabelecida para o trabalho e sua organização. O segundo capítulo, Previsão de Carga, relaciona as técnicas envolvidas com previsão de carga, enfatizando a previsão relacionada aos feriados. No terceiro capítulo, Efeito Sobre a Sexta-feira, é apresentado o estudo da significância do efeito de um feriado sobre a sexta-feira seguinte em um feriado prolongado. No quarto e penúltimo capítulo, Previsão para Sexta-feira Pós Feriados, é proposto um modelo de previsão que melhora a acurácia das previsões de carga para a sexta-feira seguinte ao feriado, em relação as previsões de um modelo que desconsidera a excepcionalidade deste tipo de sexta-feira. Por último, o capítulo Considerações Finais, compreende as conclusões finais, contribuições e possibilidades de estudos futuros não abordados neste trabalho.

2 Previsão de Carga

2.1 Introdução

O acompanhamento da carga do sistema é um requisito básico na operação de sistemas elétricos. Em curtos períodos, a carga sofre pequenas oscilações com características aleatórias. Contudo, a medida que se prolonga o período de observação para vários minutos, ou horas, a carga sofre variações cada vez maiores (GROSS; GALIANA, 1987). Adequar a geração de energia à demanda por potência é uma atividade complexa. Neste contexto, antever a carga do sistema é de extrema importância. No curto prazo, permite o correto agendamento e otimização da geração de energia e a avaliação de troca de carga entre pontos do sistema elétrico (CHATTOPADHYAY, 1998). No Brasil, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) estabelece uma sistemática de fornecimento de previsões de carga entre diversos agentes do sistema elétrico brasileiro (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2005a). Estas previsões abrangem diversos horizontes e são aplicadas desde ampliações e reforços na rede básica até o planejamento da operação elétrica e energética do sistema elétrico. As previsões de curto prazo, foco deste trabalho, são aplicadas para a programação diária da operação eletroenergética e para a programação de intervenções em instalações da rede de operação (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2005b). O horizonte destas previsões varia em função do dia da sua elaboração pois não são realizadas previsões durante o final de semana. A Tabela 1 apresenta o cronograma de envio de previsões ao ONS. Previsões realizadas nas segundas-feiras, terças-feiras e quartas-feiras devem abranger até três dias à frente, incluído o próprio dia da realização da previsão. Previsões realizadas na quinta-feira agregam as previsões da sexta-feira, sábado e domingo. Por último, as previsões feitas nas sextas-feiras projetam a carga para os próximos domingo, segunda-feira e terça-feira, resultando em um horizonte de cinco dias. O prazo estabelecido pelo ONS para entrega destas previsões é até as sete horas (manhã) do dia da elaboração da previsão.

Dia de elaboração da programação	Carga prevista para o(s) dia(s):	Carga prevista para o dia (antecipação da programação):
2ª feira	3ª feira	4ª feira
3ª feira	4ª feira	5ª feira
4ª feira	5ª feira	6ª feira
5ª feira	6ª feira e sábado	domingo
6ª feira	domingo e 2ª feira	3ª feira

Tabela 1: Cronograma para envio dos dados de previsão de carga para elaboração da programação diária da operação eletroenergética

As previsões de carga de curto prazo, inicialmente realizadas manualmente por especialistas, estão se tornando, cada vez mais, uma tarefa automatizada por sistemas computacionais. As previsões manuais são realizadas através do conhecimento empírico de um especialista, de curvas de referência, de procedimentos estatísticos e de uma boa parcela de inspiração. Entretanto, a elaboração periódica e de forma manual destas previsões sobrecarrega os especialistas além de resultar em uma fragilidade para a empresa, em decorrência da forte dependência do especialista de previsão. O emprego de sistemas computacionais de previsão reduz a sobrecarga do especialista e a fragilidade da empresa. Permite ainda aumentar a quantidade das previsões, tanto reduzindo os intervalos entre as mesmas quanto aumentando os pontos do sistema de potência a serem acompanhados, reservando ao especialista tarefas mais nobres tais como a avaliação crítica, correção e controle do próprio sistema de previsão.

As previsões de carga de curto prazo automatizadas utilizam uma massa de dados históricos para absorver o comportamento da carga em relação a diversas variáveis que a influenciam. Dados como a carga da semana anterior e a temperatura atual são utilizados para buscar uma relação entre estas variáveis e o comportamento da carga. Avançando essas variáveis no tempo, pode-se extrapolar a relação observada no passado e projetar o comportamento da carga no futuro. Diversas tecnologias foram empregadas para implementar este mapeamento entre variáveis que influenciam a carga e seu comportamento. Inicialmente, o problema da previsão de carga foi tratado estatisticamente como um problema de séries temporais ou de regressão. Porém, outras tecnologias originadas da área de Inteligência Artificial também obtiveram destaque, em

especial o uso das Redes Neurais Artificiais (RNAs).

A previsão de carga vista como um problema de série temporal considera que a curva da carga se comporta como um sinal com períodos influenciados pela hora do dia, dia da semana, semana do ano e demais sazonalidades. Busca-se explicar o comportamento da carga exclusivamente através de seu comportamento passado. A diferença entre a série temporal e a real curva da carga é considerada como um sinal aleatório. O tratamento deste componente aleatório determina a acurácia da previsão. Dentre as técnicas adotadas, destacam-se a filtragem de Kalman (TOYODA; CHEN; INOUE, 1970) e o método de Box e Jenkins (1994). Outra abordagem para a previsão e carga é o seu tratamento como um problema de regressão. Nesta situação, o comportamento da carga é explicado através de variáveis que provoquem um efeito significativo na carga. Ao contrário do tratamento das séries temporais, variáveis climáticas e sociais são adicionadas ao modelo de regressão. As variáveis são relacionadas através de funções básicas, geralmente lineares, e realizado o ajuste do modelo à situação por meio de coeficientes.

Além das técnicas originárias da Estatística, como regressões e séries temporais, outras alternativas vindas da área de inteligência artificial têm se apresentado como tecnologias eficientes para o tratamento do problema de previsão de carga. Dentre estas, destaca-se principalmente o uso de redes neurais artificiais (HIPPERT; PEDREIRA; SOUZA, 2001). Este uso deve-se aos bons resultados obtidos tratamento do problema da previsão e a facilidade de seu emprego mesmo sem um conhecimento profundo do domínio do problema. Para muitos modelos estatísticos de previsão, deve-se explicitar a relação entre as variáveis através de funções matemáticas. As redes neurais artificiais, por sua vez, mapeiam relações não lineares sem um estudo prévio do possível efeito sobre a carga das diversas variáveis de entrada. Contudo, esta mesma característica de operar sem um conhecimento profundo do relacionamento entre as variáveis do problema resulta em uma de suas principais críticas. Elas operam como uma “caixa-preta”. A relação, mapeada pela rede neural artificial, entre as entradas e saídas não pode ser facilmente explicitada e dificilmente um especialista no problema de previsão poderá julgar se o mapeamento realizado pela rede neural está coerente.

Apesar da eficiência das técnicas de previsão, as ferramentas podem não ser

aptas a extrair parte do conhecimento que poderia auxiliar na explicação do comportamento da carga. Algumas interações entre fatores que oscilam pouco podem ficar ofuscadas dentro da massa de dados de treinamento. Com o objetivo de minimizar as deficiências dos modelos de previsão, outras técnicas, geralmente relacionadas à inteligência artificial, são associadas às ferramentas de previsão já existentes, criando assim modelos de previsão híbridos. Desta maneira, relações ainda ocultas no conjunto de casos históricos ou mesmo o conhecimento empírico de um especialista podem ser codificados e repassados à solução de previsão de uma maneira mais clara. Em Amjady (2007), o autor usa para a previsão de carga um método de regressão para problemas lineares. Devido à característica não linear da carga, a previsão apresenta erros elevados. Esta previsão com maior erro é utilizada como um indicador de tendência para uma rede neural artificial que, ao tomar esta previsão como base, obtém melhores resultados do que a sua utilização isolada. A regressão serviu como um referencial da carga para a rede neural permitindo a esta se especializar apenas na relação entre este referencial e a carga efetiva. Fan e Chen (2006) utilizam uma rede neural artificial não para a tarefa de previsão mas para agrupar os dados de treinamento em conjuntos mais homogêneos. Uma rede neural de Kohonen identifica os agrupamentos de dados e esta informação é utilizada para selecionar o previsor especializado para cada agrupamento. O problema da previsão de carga é dividido em previsões de carga com escopo menor onde interações raras entre os fatores podem ser evidenciadas. A previsão é implementada com uma máquina de suporte vetorial.

A previsão de carga por meio de redes neurais artificiais utiliza uma massa de dados históricos para absorver o comportamento da carga em relação às diversas variáveis que a influenciam. Porém, existem fatores que afetam significativamente a carga, mas que não possuem um conjunto de dados representativos o suficiente para realizar uma previsão com erros aceitáveis. Esses eventos podem ser não periódicos e espaçados, ocorrendo em épocas, horários e dias da semana diferentes, e até mesmo não ocorrer dentro da massa de dados utilizada para o treinamento da rede neural artificial. Feriados, mudanças abruptas de clima e operações de transferência de carga são exemplos de situações anormais que resultam em uma mudança no comportamento da carga mas dificilmente formam um conjunto de casos recentes representativos. Apesar de serem situações conhecidas e de fácil detecção, apenas informar estes fatores como

entrada em pouco ajuda a reduzir os erros de previsão. Esses casos não ocorrem com frequência suficiente para que sua relação com a carga seja generalizada. Nestas situações anormais, a solução empregada é a especialização do mecanismo de previsão. Assim, os casos passados são agrupados para enfatizar o fator pouco frequente, ou são realizados ajustes no modelo de previsão aplicando algum conhecimento específico do especialista para esta situação.

2.2 Previsão de feriados

Uma das principais exceções tratadas na previsão de carga é a ocorrência de feriados. No Brasil, como declara o artigo 8º da lei nº 605, de 5 de janeiro de 1949, é vedado o trabalho nos feriados oficiais, salvo os casos onde as exceções técnicas o impõe (BRASIL, 1949a). Além dos feriados definidos por lei (BRASIL, 1949b), (BRASIL, 1995), apesar de não ser obrigatório, é comum a todos os setores da sociedade a declaração de ponto facultativo em alguns outros dias como a terça-feira de Carnaval, o dia de *Corpus Christi* e sexta-feira da Paixão. Grande parte dos consumidores comerciais e industriais param suas produções, o que reduz a demanda de energia elétrica.

Uma técnica utilizada para a previsão de feriados baseia-se na semelhança de um feriado com o comportamento do final de semana. Os serviços afetados pela ocorrência do feriado são similares aos inativos nos finais de semana. Por esta razão, a curva da carga de um feriado é semelhante a encontrada nos finais de semana próximos a este feriado. Em algumas regiões, esta semelhança é maior com o sábado, em outras com o domingo. Alguns trabalhos que abordam a previsão de carga nos feriados utilizam esta similaridade do feriado com o final de semana para proceder com a previsão. Fidalgo e Lopes (2005) descrevem uma solução para previsão de feriados para um sistema elétrico de Portugal baseado em redes neurais artificiais. O feriado é previsto através de uma rede neural treinada exclusivamente com os últimos sábados. Como o sistema predictor conhece apenas o comportamento dos sábados, este realizará a previsão do dia do feriado como se este fosse um sábado qualquer. Outros trabalhos semelhantes como o descrito por Srinivasan, Chang e Liew (1995) realizam previsões

de feriados como se estes fossem domingos. O autor utiliza redes neurais em conjunto com lógica difusa para realizar previsões na região de Singapura.

Assim como em Portugal, o feriado no Brasil apresenta o comportamento da carga mais próximo a um sábado do que a um domingo. No entanto, a solução de prever o feriado como um sábado não é diretamente aplicável ao sistema elétrico brasileiro. Os sábados são dias comerciais até as treze horas. Um feriado oficial, em contrapartida, é um dia não útil durante o período matutino e vespertino. Utilizar o sábado para a previsão do feriado pode reduzir os erros de um sistema que não considere o feriado mas a previsão até o meio-dia projetará, principalmente em áreas comerciais, um comportamento ainda acima do que normalmente se espera de um feriado. Em contrapartida, embora possuam muitas características em comum, o domingo, pelo menos no Brasil, é ainda mais afastado da curva de um feriado do que o sábado. Desta forma, não se pode prever com exatidão os feriados no Brasil como um sábado e nem como um domingo.

2.3 Previsão de outros dias afetados pelo feriado

Os feriados alteram o comportamento da demanda de energia elétrica dos consumidores em relação à demanda usual em dias não feriados. Além da alteração provocada pela mudança de comportamento individual, muitos serviços deixam de funcionar nestas datas especiais. Todavia, a mudança de comportamento dos consumidores pode atravessar o limite do dia do feriado. A ocorrência de alguns feriados provoca uma mudança no comportamento de dias anteriores e posteriores a eles. Esses dias próximos apresentam um comportamento próprio pois, além das influências encontradas em dias comuns não influenciados pelo feriado, eles sofrem uma alteração crescente à medida que se aproxima do dia do evento. Como no caso dos feriados, estas situações possuem um conjunto de dados referente a tal comportamento da carga pequeno e pouco representativo. Assim, a previsão para estas situações especiais demanda tratamento específico que normalmente busca agregar as técnicas de previsão para dias comuns a fontes de conhecimento de um especialista em relação ao comportamento da carga.

Feriados especiais como o Natal, a Páscoa, e as festas de Ano Novo são exemplos de feriados que podem afetar a curva da carga de dias próximos. Estes dias influenciados pelo feriado ocorrem poucas vezes em um ano. Se não forem tratados separados dos demais períodos do ano, provavelmente estes serão considerados pela solução de previsão como anomalias e serão ignorados na explicação da carga. Todavia, pela sua recorrência anual e por ocorrer a cada ano em épocas próximas, a explicação da carga nestes dias pode ser baseada em anos anteriores e não nas semanas anteriores mais próximas como é feito para dias comuns.

Os trabalhos de Lamedica, et al. (1996) e Chicco, Napolli e Piglione (2001) levam em conta o efeito dos feriados especiais de Natal e de Páscoa sobre a curva da carga de dias próximos. Como os feriados estudados possuem recorrência anual, o comportamento da carga do ano passado pode ser utilizado para a previsão do ano seguinte. Esses trabalhos utilizam técnicas similares para o problema de previsão destes dias atípicos. Os dias especiais próximos aos feriados no ano anterior são agrupados por similaridade através de uma rede neural artificial de Kohonen. Em Lamedica, et al. (1996) foi utilizada a informação de qual é o agrupamento ao qual pertence o dia a ser previsto como uma variável de entrada para uma rede neural artificial que realiza as previsões. No trabalho de Chicco, Napolli e Piglione (2001), a informação sobre o agrupamento é utilizada para construir um conjunto de dados específicos para cada situação. A rede neural artificial que realizará a previsão é treinada usando apenas os casos de dias que pertencem ao mesmo agrupamento do dia a ser previsto. Entretanto, a identificação de qual agrupamento representa o dia a ser previsto é originado do ano anterior. Isto considera que não existem mudanças significativas no efeito do feriado nos dias próximos ao longo dos anos. Isto provavelmente ocorre para o período da Páscoa em que os feriados acontecem sempre no mesmo dia da semana. Contudo, o Natal ocorre em dias da semana diferentes em anos distintos. Assim, é provável que o comportamento a dois dias do Natal seja diferente se este for em um sábado ou em uma segunda-feira.

Ruzic, Vuckovic e Nikolic (2003) utilizam uma outra técnica para o período próximo ao feriado. A previsão da curva de um dia é dividida em duas etapas. A carga total do dia é prevista em uma primeira fase e, em seguida, esta previsão é utilizada como entrada para um segundo mecanismo que prevê a curva do dia. O tratamento dos

dias próximos ao feriado é feito ajustando a previsão da carga do dia através de um coeficiente linear. O coeficiente é calculado em função do comportamento da carga do ano anterior. Assim como os trabalhos anteriores, esta técnica mostra-se interessante apenas para aplicação em feriados anualmente recorrentes.

A cultura de feriados prolongados no Brasil pode afetar a demanda de carga dos dias próximos ao feriado mesmo em feriados comuns. Quando há a ocorrência de um feriado em uma quinta-feira, diversos serviços que funcionariam em sextas-feiras normais deixam de realizar suas atividades na sexta-feira que se segue ao mesmo, provocando uma mudança no comportamento de demanda de energia elétrica. No entanto, a adoção desta cultura não possui força de lei como a ocorrência de um feriado oficial e muitos serviços operam normalmente. Isto faz com que a curva da carga destas sextas-feiras tenha um comportamento próprio, algo entre a demanda de um feriado e uma sexta-feira comum. Os casos dessa situação são ainda mais escassos do que os encontrados para feriados como o Natal e a Páscoa. A maioria dos feriados não segue o calendário lunar e possui data fixa no ano. A cada ano, esses ocorrem em dias da semana distintos e, conseqüentemente, diferentes feriados formam os feriados prolongados. Assim, não existe uma recorrência anual de feriados prolongados para o mesmo período do ano. Apesar da complexidade desta situação, assim como para qualquer outro dia do ano os agentes do setor elétrico precisam de previsões sobre a carga. As técnicas citadas anteriormente baseiam-se no efeito do feriado sobre os dias próximos em anos anteriores para reproduzir este comportamento na previsão atual. Porém esta recorrência anual não ocorre para a maioria dos feriados prolongados que ocorrem a cada ano para feriados distintos. Desta forma, tais técnicas não são totalmente adequadas para serem aplicadas ao problema de previsão de carga em feriados prolongados brasileiros.

3 Efeito sobre a sexta-feira

3.1 Introdução

O comportamento da carga é influenciado por diversos fatores exógenos ao sistema de potência, dentre os quais os fatores temporais, sociais e climáticos. Em curtos períodos de tempo, alguns destes fatores não sofrem grandes alterações e seu efeito resultante sobre a carga é similar. Também, tomando-se o mesmo dia da semana em semanas diferentes de um mesmo mês, espera-se que as curvas de carga destes dias sejam próximas, salvo em situações de mudança brusca nos fatores que a influenciam. A Figura 1 apresenta curvas de carga do Estado de Santa Catarina¹, relativas às quatro sextas-feiras do mês de maio de 2007.

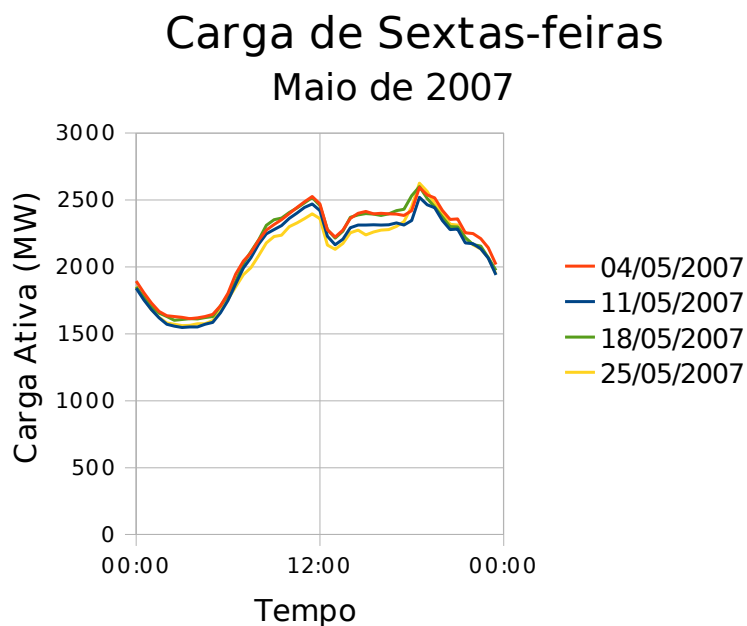
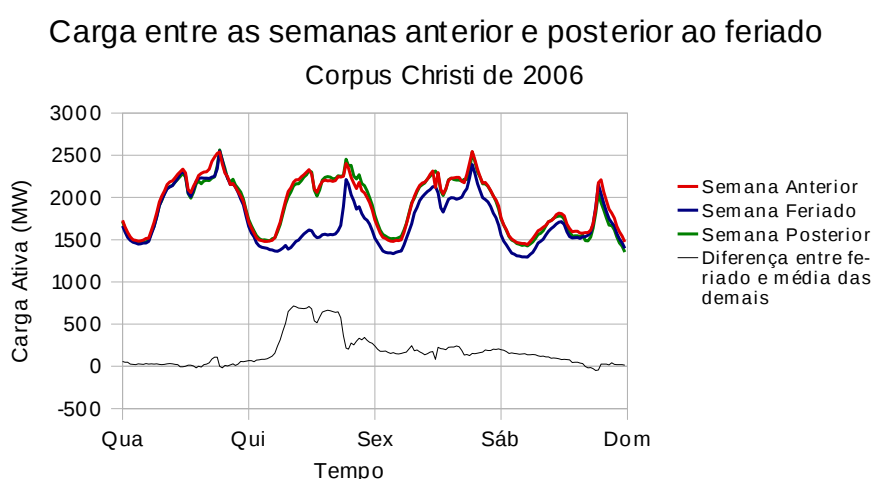


Figura 1: Curvas de carga total em Santa Catarina das sextas-feiras de maio de 2007

1 É a curva da carga total do Estado de Santa Catarina, dada pelas medições de carga efetuadas pelo sistema de supervisão e controle (SDSC) das Centrais Elétricas de Santa Catarina sobre o seu sistema de potência.

Nesta, é possível observar que as curvas de carga possuem um formato semelhante. Além disto, pode-se visualizar dois agrupamentos de curvas levemente separados. Um primeiro, formado pela primeira (04/05/2007) e pela terceira curva (18/05/2007), possui um padrão mais elevado enquanto um outro composto pela segunda (11/05/2007) e pela quarta (25/05/2007) apresenta um padrão mais baixo. Esta pequena diferença na amplitude das curvas de carga é característica de um mês típico de Outono em Santa Catarina, que transita entre uma estação climática quente e uma fria. A diferença de amplitude entre os dois agrupamentos ocorreu por uma mudança brusca na temperatura provocada pela entrada de uma frente fria ou uma onda de calor.

Neste trabalho está sendo estudado se os feriados na quinta-feira afetam o comportamento da carga na sexta-feira seguinte. Como esta sexta-feira seguinte ao feriado é assumida como um dia não funcional por algumas entidades da sociedade, presume-se que a carga esteja abaixo da esperada para uma sexta-feira comum. Porém, como este hábito não é adotado por toda a sociedade, espera-se que a carga nesta sexta-feira esteja acima da encontrada em um feriado oficial. A Figura 2 mostra um exemplo desta situação para a curva de carga do Estado de Santa Catarina, relativa ao feriado de *Corpus Christi* de 2006. Nesta, são apresentadas as curvas de quarta-feira a sábado da semana do feriado, e das semanas anterior e posterior a esta, além de uma curva com a diferença entre a carga da semana do feriado e a média das demais semanas.



A Figura 2 mostra que as curvas das quartas-feiras de todas as semanas são similares. Na curva onde ocorre o feriado na quinta-feira, a carga é extremamente

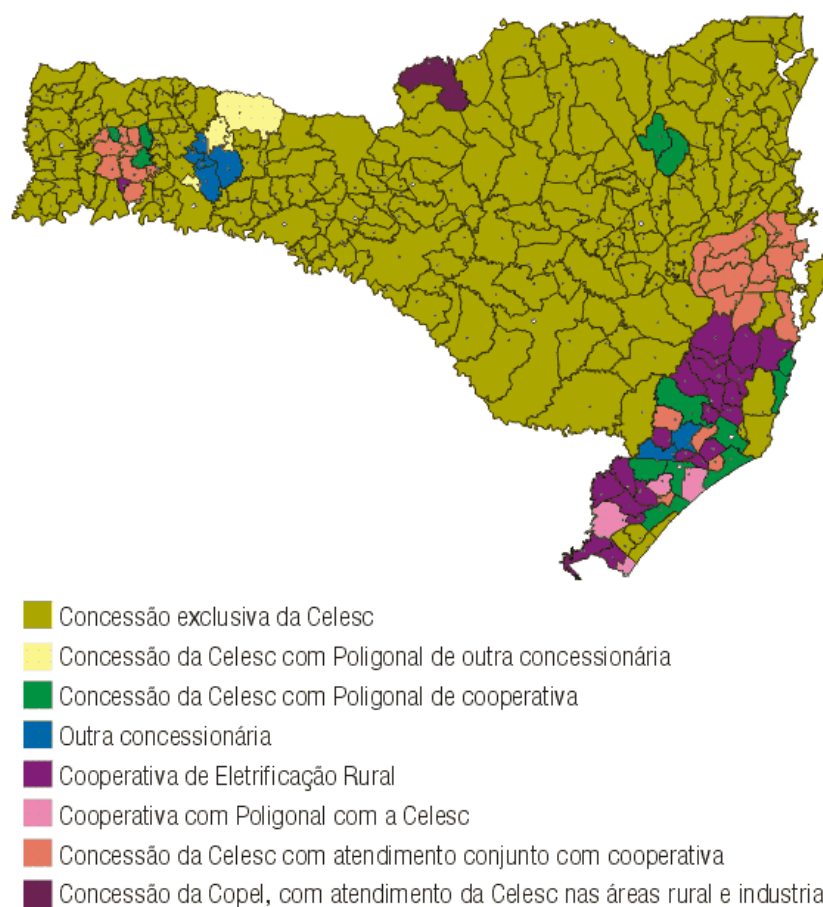
afetada, com o formato da curva deste dia aproximando-se ao da curva típica de um sábado, porém com um formato de curva mais baixo no período matutino. Já as curvas das outras duas quinta-feiras, bem como das quarta-feiras, mostram formato e amplitude semelhantes, apresentando-se sobrepostas. Para a sexta-feira após o feriado, a curva contendo o feriado se eleva em relação à curva deste, mas não alcança o mesmo patamar encontrado nas curvas das sextas-feiras das semanas anterior e posterior. Esta curva reduzida se prolonga aparentemente até o início do período vespertino de sábado, a partir do qual as curvas das três semanas voltam novamente a se encontrar.

A análise visual das curvas de carga da semana do feriado e das semanas anterior e posterior (Figura 2) leva a crer que a ocorrência do feriado na quinta-feira influencia a demanda de energia elétrica da sexta-feira. Entretanto, a observação visual permite apenas uma avaliação subjetiva e passível da influência do observador. A diferença em uma situação pode ou não ser “significativa” para diferentes observadores. Por este motivo, na investigação da influência da quinta-feira sobre a carga da sexta-feira, foi utilizada uma análise estatística no intuito de identificar se esta sexta-feira após o feriado possui uma característica significativamente diferente de outras sextas-feiras, em virtude da influência do feriado.

3.2 Descrição dos dados

Para detectar se o feriado afeta a curva da carga do dia seguinte é necessário se dispor de medições sobre a carga em uma dada região. Os dados utilizados neste trabalho são provenientes da distribuidora CELESC Distribuição S.A., relativos à leituras da carga no período de janeiro de 2003 a julho de 2007. A CELESC é a responsável por fornecer energia para mais de 90% do território do Estado de Santa Catarina (CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA S.A., 2006). Apesar de não absorver a totalidade do Estado, como a área de concessão da CELESC abrange os grandes centros consumidores, este trabalho assume que a carga total fornecida pela CELESC representa a demanda do Estado de Santa Catarina. A Figura 3 mostra o mapa do Estado indicando a participação da CELESC na distribuição de energia elétrica no ano de 2008.

A CELESC utiliza um sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) para o monitoramento e controle de sua infra-estrutura de distribuição. As medições de potência ativa utilizadas neste trabalho foram extraídas do banco de dados formado a partir de dados provenientes deste sistema de supervisão e controle e correspondem a leituras, obtidas a cada minuto, do sistema de potência da CELESC.



Fonte: <http://portal.celesc.com.br/portal/page/portal/institucional/concessao>

Figura 3: Área de concessão da CELESC em Santa Catarina

Como estes dados são empregados também na tarefa de previsão de carga em passos de 30 minutos, estas leituras a cada minuto foram agrupadas em médias de meia hora. A média é obtida aplicando-se a média aritmética simples entre os registros da leitura da meia-hora, 0 minuto e 30 minutos, e os 29 minutos anteriores. Por exemplo, a média para 10:30 é composta pela média entre os registros de 10:01 até 10:30. Para o uso no problema de verificação da significância do efeito do feriado sobre o dia

seguinte, estas médias foram agregadas em médias diárias utilizando novamente a média aritmética simples. Como a média de médias de conjuntos é igual a média de todos os elementos, a média diária neste trabalho pode ser lida como a média das leituras instantâneas minuto a minuto da carga entre as 23:31 do dia anterior até 23:30 do dia seguinte. Todas as leituras de carga neste trabalho utilizam como unidade o *megawatt* (MW).

3.2.1 Problemas com dados

A qualidade dos dados é importante para a obtenção de conclusões confiáveis. Todavia, os dispositivos de leitura, o sistema de supervisão e controle e o ambiente de armazenamento não são isentos de falhas. Os dados obtidos com o sistema de supervisão e controle da CELESC algumas vezes apresentam registros com problemas de qualidade. Em algumas situações, o próprio sistema identifica o problema e qualifica os registros com um estado de qualidade. Assim, estes registros duvidosos podem ser automaticamente descartados. Entretanto, ainda ocorrem situações onde o sistema de supervisão não detecta ou não reconhece os registros defeituosos e os apresenta como leituras reais. Em uma destas situações, a leitura pode permanecer fixa por horas ou mesmo dias, claramente demonstrando uma falha em algum ponto do ambiente de monitoramento. Com a maturidade do sistema de controle, as falhas tornaram-se menos freqüentes. Contudo, apesar da melhoria significativa na qualidade dos dados, ainda é comum ocorrerem falhas pequenas de até algumas horas.

A ausência de registros no sistema de monitoramento, provocada por diversos fatores, pode atrapalhar seu uso em algumas aplicações. Os modelos de previsão normalmente não estão adaptados a dados de entrada com registros ausentes ou nulos. Nestas situações, a ferramenta de previsão pode demonstrar um comportamento instável, podendo gerar, inclusive, situações impossíveis para o ambiente real. No caso deste estudo do efeito do feriado na quinta-feira sobre a sexta-feira, a ausência de uma das meias-horas em um horário de pico pode abaixar significativamente a média da sexta-feira da mesma maneira que uma leitura ausente na madrugada pode elevar a média diária. Tudo isto mostra a necessidade de substituir estes registros ausentes por leituras artificiais. Mesmo não representando com exatidão a realidade, a divergência

entre estes registros e o ocorrido geram menos problemas que o efeito da sua total ausência.

Algumas falhas das leituras de carga são ligeiramente curtas. Essas ocorrem por problemas temporários de comunicação ou defeitos simples nos sensores, que são sanados dentro de poucas horas. Dado que a curva da carga apresenta poucos pontos de mudanças bruscas, como os picos de consumo, adotou-se a interpolação cúbica (FRITSCH; CARLSON, 1980) como técnica de preenchimento destas pequenas falhas. Esta técnica apresentou bons resultados para pequenos intervalos mas perde qualidade à medida que o problema se prolonga. Por este motivo, a interpolação cúbica foi aplicada para falhas de até duas horas (quatro registros de meia hora).

As pequenas falhas são comuns mas não abrangem todos os problemas enfrentados com a falta de dados. Em algumas situações, os dados da leitura de carga ficam ausentes por horas, dias, ou, em raras ocasiões, semanas. Nestes casos, a técnica de interpolação cúbica não é capaz de gerar uma curva semelhante à esperada para uma curva de carga. Levando em consideração a sazonalidade semanal da carga em que mesmos dias da semana possuem carga semelhantes para períodos próximos, aplicou-se, nestes casos uma técnica de correção baseada na leitura da curva da semana anterior. Num primeiro passo, a curva da semana anterior dos respectivos horários com problemas é copiada sobre os registros ausentes. Entretanto, isto pode gerar quebras de continuidade pois a leitura da semana anterior normalmente mantém a mesma forma mas nem sempre a mesma grandeza. Esta descontinuidade é eliminada aplicando-se um ajuste linear nos dados copiados.

As leituras do período copiado são ajustadas para que suas bordas sobreponham as leituras de dados reais marginais à região do problema. Os dados da semana anterior são utilizados mesmo que parte destes registros sejam provenientes de alguma das técnicas de correção de dados. Em casos extremos onde a falha se alongar por mais de uma semana, não é possível copiar os dados da semana anterior, pois o ajuste linear não pode ser aplicado. Nestas situações raras, os dados são copiados, não da semana anterior, mas do ano anterior. A curva da semana do ano anterior é obtida retrocedendo a leitura em 52 semanas para manter a mesma correspondência entre os dias da semana. Estas correções, a interpolação e as cópias, foram ratificadas

manualmente por um operador que pode optar pela melhor técnica de correção.

Além dos problemas provocados por falhas no sistema de supervisão, existem situações anormais, porém com leituras corretas que podem confundir o estudo dos dados. Algumas operações de manutenção envolvem a transferência de carga entre equipamentos para manter a disponibilidade de energia elétrica. Entretanto, isto pode provocar observações incoerentes dos dados. Durante uma manutenção, a distribuidora de energia pode transferir o fornecimento de energia, em uma região, de um equipamento para outro localizado na mesma ou em em outra subestação. Desta maneira, um estudo que foque somente sobre as leituras de uma subestação pode detectar uma baixa ou um aumento significativo na demanda de energia quando, na realidade, ocorreu apenas uma reconfiguração no sistema elétrico. Para evitar tais situações, este estudo adota a soma da carga de todo o Estado de Santa Catarina. Com isso, na ocorrência de uma transferência de carga, as diferenças entre as leituras nos dois pontos serão anuladas na soma total.

3.3 *Teste estatístico*

Como foi apresentado anteriormente, este trabalho identifica se o efeito de um feriado na quinta-feira afeta significativamente ou não a carga da sexta-feira seguinte. Isto pode ser estudado comparando o comportamento da curva da sexta-feira com e sem a presença do feriado na véspera. Para tanto, torna-se então necessário obter uma curva dessa sexta-feira isenta do efeito do feriado. Contudo, não se pode obter leituras reais das sextas-feiras após o feriado sem a influência deste. A carga é uma variável não controlada. Não é simples obter dois grupos de grandes regiões semelhantes, um para controle e outro para aplicar o efeito do feriado, e solicitar que um destes grupos desconsidere durante a sexta-feira o feriado prolongado. Além disto, este experimento teria que ser repetido algumas vezes para quantificar o erro amostral. Por este motivo, para o comportamento desta sexta-feira desconsiderando o feriado não será utilizada uma observação real. Essas sextas-feiras sem a influência do feriado serão estimativas do comportamento esperado.

Foram avaliadas duas alternativas para estimar esta sexta-feira após o feriado sem a influência deste. Uma primeira proposta foi avaliar a utilização de uma previsão de carga isenta da ocorrência do feriado para a sexta-feira. Um sistema de previsão realizaria uma projeção de dois dias, a partir da meia-noite da quinta-feira, feriado, e a curva prevista para a sexta-feira seria utilizada como a curva sem influência do feriado. Entretanto, nesta situação, problemas inerentes ao modelo de previsão empregado podem afetar ou ofuscar o efeito em estudo. Além disto, ainda não foi realizado um estudo para saber em que ponto a carga começa a sofrer influência do feriado. Esta influência pode ser iniciada na noite anterior ao feriado, quando muitas pessoas aproveitam o final de semana prolongado para viajar, alterando a demanda noturna da quarta-feira. Com isso, foi adotada uma segunda alternativa onde outras sextas-feiras próximas à semana do feriado são utilizadas como a sexta-feira sem a influência deste. Como os mesmos dias da semana tendem a ter um comportamento similar ao longo de semanas próximas, as sextas-feiras das semanas anterior e posterior são estimativas de qual comportamento seria esperado para a sexta-feira após o feriado caso este não existisse. Assim, as sextas-feiras da semana anterior e da posterior à semana do feriado foram utilizadas como o grupo de controle do teste.

Através da adoção das sextas-feiras de semanas imediatamente próximas à semana do feriado, ficam disponíveis para estudo os seguintes grupos: carga média de sextas-feiras da semana anterior ao feriado (C_{s-1}), carga média de sextas-feiras após o feriado (C_s) e carga média de sextas-feiras da semana posterior ao feriado (C_{s+1}). Nesta situação em que temos diversos casos, cada um com observações em mais de dois nível para um mesmo fator, é indicada a utilização da análise de variância com medidas repetidas. Ao invés de considerar cada grupo de leituras como amostras independentes, alinhar os casos (medidas repetidas) permite isolar a variação entre feriados distintos e reduzir o erro amostral do teste (resíduos). Com isto, o teste obtém melhores resultados para um mesmo tamanho de amostra. São declaradas duas hipóteses. A primeira hipótese chamada de nula (H_0) supõe que as diferenças ocorreram ao acaso. Uma segunda (H_1), complementar a primeira, afirma o contrário. A análise da variância busca encontrar evidências para rejeitar a hipótese nula e, conseqüentemente, aceitar a hipótese complementar. A Equação 1 apresenta os meios para calcular a probabilidade

de que a hipótese nula seja verdadeira para a análise da variância com medidas repetidas. Nesta, “ a ” representa o número de tratamentos, que neste estudo assume o valor “três” em função da quantidade de semanas (C_{s-1} , C_s e C_{s+1}), e “ n ”, é o número de casos, que representa a quantidade de feriados prolongados disponíveis. Por fim, “ $y_{i,j}$ ” representa a carga média diária da semana “ i ” referente ao feriado prolongado “ j ”.

$$\begin{aligned}
 SomaQuadratica_{EntreFeriados} &= \frac{\sum_{j=1}^n (\sum_{i=1}^a y_{i,j})^2}{a} - \frac{(\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{i,j})^2}{a.n} \\
 SomaQuadratica_{DentroFeriados} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{i,j})^2 - \frac{\sum_{j=1}^n (\sum_{i=1}^a y_{i,j})^2}{a} \\
 SomaQuadratica_{EntreSemanas} &= \frac{\sum_{i=1}^a (\sum_{j=1}^n y_{i,j})^2}{n} - \frac{(\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{i,j})^2}{a.n} \\
 SomaQuadratica_{Total} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{i,j})^2 - \frac{(\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{i,j})^2}{a.n} \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$SomaQuadratica_{Erro} = SomaQuadratica_{DentroFeriados} - SomaQuadratica_{EntreSemanas}$$

$$MediaQuadratica_{EntreSemanas} = \frac{SomaQuadratica_{EntreSemanas}}{a-1}$$

$$MediaQuadratica_{Erro} = \frac{SomaQuadratica_{Erro}}{(a-1)(n-1)}$$

$$F_0 = \frac{MediaQuadratica_{Tratamentos}}{MediaQuadratica_{Erro}}$$

$$p = \text{distribuicao}F(F_0, (a-1), (a-1)(n-1))$$

A conclusão sobre o resultado da análise da variância depende do nível de significância, que representa a probabilidade máxima permitida de aceitar o efeito como significativo quando este tenha ocorrido ao acaso. Na Equação 1, é obtida a estatística “

F_0 ” que segue uma distribuição “ $F_{a-1,(a-1)(n-1)}$ ”. Com isto, pode-se calcular a probabilidade (p) das diferenças entre os tratamentos (semanas) terem ocorrido ao acaso. Se esta probabilidade for menor que o nível de significância adotado, a hipótese nula é rejeitada. Por ser complementar a H_0 , a hipótese H_1 é afirmada indicando que existe diferenças significativas entre os tratamentos.

A escolha do nível de significância é estabelecido pelo pesquisador e seu valor deve ser adequado ao estudo empreendido. Valores muito elevados podem resultar em um teste menos preciso pois é maior a probabilidade de uma diferença causada pelo acaso ser aceita como resultante do efeito em estudo. Em contrapartida, valores muito baixos podem tornar o teste exageradamente criterioso na identificação do efeito de um fator. Assim, pode ser necessária uma amostra muito maior para chegar à mesma conclusão sobre um fator em estudo. Neste trabalho, adotou-se um nível de significância (α) de 1%, que foi considerado como uma margem de segurança confortável.

A análise da variância busca explicar o comportamento da variável em função de uma relação algébrica entre os tratamentos envolvidos. A diferença entre os valores estimados através desta relação algébrica e os observados na amostra é considerado com erro amostral ou resíduo. Para que os resultados da análise da variância sejam confiáveis é necessário que estes erros estejam distribuídos independentemente e de maneira normal, com média zero e desvio padrão desconhecido mas constante (MONTGOMERY, 2005, p. 75-85). A análise de variância é relativamente robusta frente à divergência dos resíduos de uma normal. Somente se os resíduos desvirtuarem completamente de uma normal, os resultados deixarão de ser confiáveis. Além da normalidade dos resíduos, estes também devem estar bem distribuídos, não apresentando um padrão de comportamento e devem ser independentes entre si, sem correlação aparente entre os resíduos dos casos. Contudo, desvios nesta condição são pouco importantes quando as amostras são balanceadas. Este critério se torna mais restritivo à medida que aumentam as diferenças no número de amostras de cada grupo, principalmente quando a menor amostra apresentar a maior variação. Quando estas condições não forem satisfeitas, é necessário realizar uma transformação na variável de estudo antes da aplicação do teste para estabilizar e distribuir uniformemente os

resíduos.

Antes de estudar as diferenças entre a carga média das sextas-feiras após feriados e das demais sextas-feiras, é preciso investigar se existe uma diferença significativa da carga média entre qualquer uma das sextas-feiras em estudo: as da semana anterior ao feriado (C_{s-1}), as após o feriado (C_s) e as da semana seguinte ao feriado (C_{s+1}). Para tal, conforme explicitado anteriormente, foi utilizada a análise da variância com um nível de significância de 1%. Assim, foram levantadas as seguintes hipóteses:

- H'_1 : A carga das sexta-feiras nas semanas anterior, posterior e da semana do feriado na quinta-feira não são significativamente diferentes;
- H'_2 : A carga das sexta-feiras nas semanas anterior, posterior e da semana do feriado na quinta-feira são significativamente diferentes.

Aplicando a análise da variância descrita em 1, foi obtido os resultados mostrados na Tabela 2.

Fonte de variância	Soma quadrática ²	GL ³	Média quadrática ⁴	F ⁵	p ⁶
Entre feriados	1647320,81	9			
Dentro dos feriados	346038,37	20			
Semana	270924,94	2	135462,47	32,46	0,0000011
Erro	75113,42	18	4172,97		
Total	1993359,17	29			

Tabela 2: Análise da variância para os três conjuntos de sextas-feiras

O teste obteve uma probabilidade de menos de 0,001% de que as diferenças encontradas entre as sextas-feiras em estudo sejam provocadas ao acaso. Com este valor está muito abaixo do limite de significância adotado (1%), a hipótese H'_1 foi rejeitada e

2 Soma quadrática de cada fonte de variância conforme Equação 1

3 Graus de liberdade

4 Soma quadrática de cada fonte de variância dividida pelos graus de liberdade

5 Estatística do teste (F)

6 Probabilidade de significância

a hipótese complementar H'_1 aceita. Assim, o teste indica que existe diferença significativa entre uma ou mais sextas-feiras. Contudo, antes de poder utilizar tais resultados para os demais estudos, é necessário avaliar as suposições da análise de variância. Um primeiro critério é referente à normalidade dos resíduos do teste. A Figura 4 mostra o gráfico da probabilidade normal destes resíduos. Quanto mais próximos da reta central, mais estes dados estarão de acordo com uma distribuição normal. Apesar de não se enquadrar perfeitamente a uma distribuição normal, principalmente nas caldas, como comentado anteriormente, o teste F utilizado na análise da variância é robusto o suficiente para obter resultados confiáveis mesmo diante desta situação.

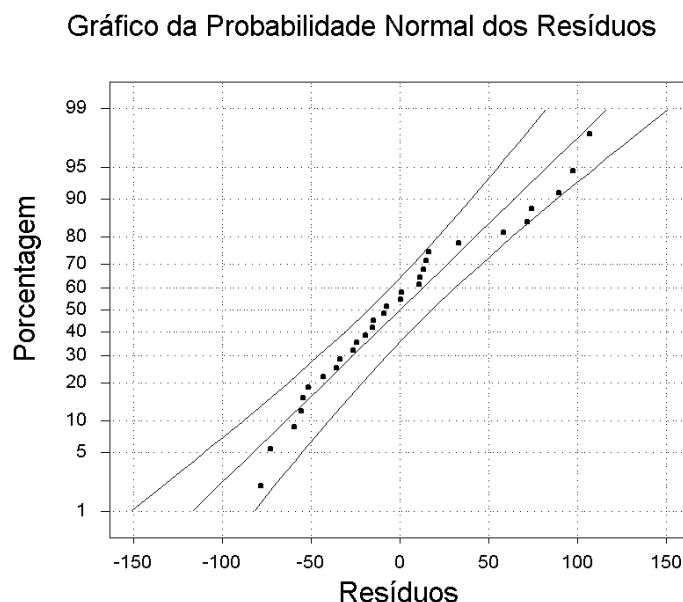


Figura 4: Gráfico da normalidade das diferenças das semanas

Outra avaliação dos resíduos refere-se a uniformidade da variância para diferentes níveis do fator em estudo. A Figura 5 mostra a relação entre os valores estimados no modelo algébrico em função dos fatores frente aos resíduos em cada tratamento. Pela figura, é possível observar uma tendência de uma maior concentração de resíduos em valores mais altos pois os casos se concentram em situações com carga média diária mais alta. Porém, ao longo de todo o gráfico, existe uma aparente manutenção da distribuição vertical dos resíduos indicando uma variância estável. Os casos de variabilidade instável geralmente são representados por resíduos que formam

figuras triangulares, como um funil.

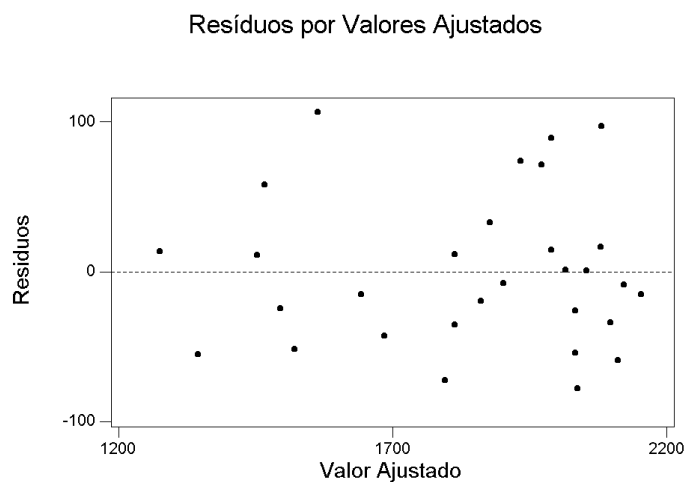


Figura 5: Gráfico dos resíduos por valor ajustado

Avaliando a independência entre os resíduos, a Figura 6 mostra os mesmos dados da Figura 5 mas ordenados pela sequência dos casos. Nesta situação, não é formado um padrão aparente indicando correlação entre as medidas. Sendo assim, não existe motivos para questionar a validade do teste.

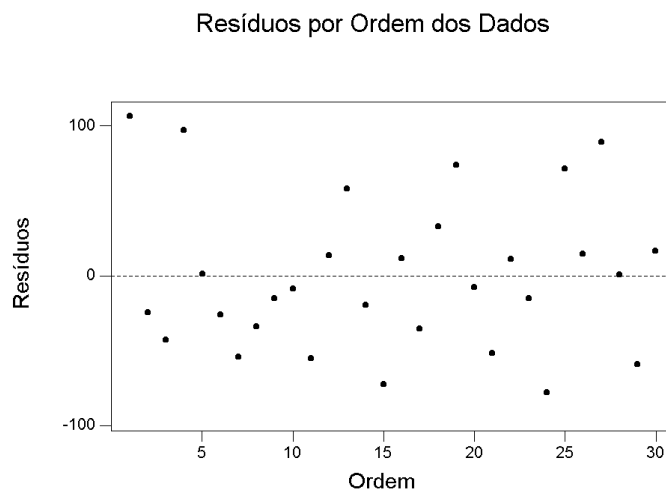


Figura 6: Gráfico dos resíduos por ordem dos valores

A existência desta diferença entre a carga das sextas-feiras é necessária, mas ainda não suficiente para esclarecer a questão sobre o efeito do feriado. Uma vez detectado um efeito significativo de um fator, pode-se utilizar o teste de Tukey HSD

(*Honestly Significantly Different*) para identificar se existe uma diferença significativa entre os diversos níveis de um fator (MONTGOMERY, 2005, p. 94-95). Uma vantagem do teste de Tukey é que este mantém a significância global do teste para as comparações individuais. O teste de Tukey normalmente é aplicado identificando uma distância crítica para considerar duas médias diferentes segundo a significância adotada. Todavia, com o auxílio de um programa estatístico, é possível integralizar numericamente a curva da função de probabilidade calcular a probabilidade da diferença entre as médias de cada tratamento ser fruto do acaso. Caso este valor fique abaixo do nível de significância adotado, considera-se que a distância é significativa. A Equação 2 mostra o cálculo do teste de Tukey. O resultado é a probabilidade de que a diferença entre as médias dos tratamentos “a” (\bar{y}_a) e “b” (\bar{y}_b) sejam provocadas ao acaso. Os demais parâmetros são obtidos no cálculo da análise da variância.

$$q = \frac{\bar{y}_a - \bar{y}_b}{\sqrt{\frac{\text{MediaQuadratica}_{\text{Erro}}}{n}}} \quad (2)$$

$$p = \text{distribuição } Q(q, a, (a-1)(n-1))$$

O primeiro estudo pós-teste foi entre as cargas médias das sextas-feiras da semana anterior ao feriado (C_{s-1}) com as das sextas-feiras da semana posterior ao feriado (C_{s+1}). Se entre estes dois grupos existisse uma diferença significativa causada pelo efeito de algum fator quaisquer como “semana do ano”, este mesmo fator poderia fazer com que estes dois grupos também fossem significativamente diferentes das cargas médias de sextas-feiras após o feriado (C_s), independentemente do efeito do feriado na véspera. Contudo, não encontrando fatores significativos entre os grupos “ C_{s-1} ” e “ C_{s+1} ”, pode-se desconsiderar os fatores externos a pesquisa, inclusive para comparações entre estes grupos e “ C_s ”. Por ambos estarem mais próximos de “ C_s ” do que entre si, é esperado que a diferença no efeito causada por fatores externos seja ainda menor. Assim, foram levantadas as seguintes hipóteses referentes a comparação entre “ C_{s-1} ” e “ C_{s+1} ”:

- H'' : A carga das sexta-feiras nas semanas anterior e posterior à semana do feriado na quinta-feira não são significativamente diferentes;

- H_1'' : A carga das sexta-feiras nas semanas anterior e posterior à semana do feriado na quinta-feira são significativamente diferentes.

Além disto, foram também levantadas hipóteses sobre a diferença entre “ C_s ” e os demais grupos (C_{s-1} e C_{s+1}):

- H_0''' : A carga da sexta-feira na semana anterior e posterior à semana do feriado na quinta-feira não são significativamente diferentes da sexta-feira seguinte ao feriado;
- H_1''' : A carga da sexta-feira na semana anterior e posterior à semana do feriado na quinta-feira são significativamente diferentes da sexta-feira seguinte ao feriado.

A Tabela 3 mostra os resultados do teste de Tukey HSD, que comparou as diferenças entre as médias, dois a dois, de cada um dos níveis do fator “Semana”. Assim como na análise da variância, foi adotado o nível de significância em 1%.

Tukey HSD	C_{s-1}	C_s	C_{s+1}
C_{s-1}		0,00015000	0,31874800
C_s	0,00015000		0,00016700
C_{s+1}	0,31874800	0,00016700	

Tabela 3: Resultado do teste de Tukey HSD entre os níveis do fator “Semana”

O resultados do teste de Tukey não mostram evidências para diferenciar os grupos “ C_{s-1} ” e “ C_{s+1} ”. A probabilidade de que as diferenças encontradas sejam provocadas ao acaso foi de 31,87%, ou seja muito acima do limite aceito de 1% de nível de significância. Assim, não é possível rejeitar a hipótese H_0'' , devendo esta ser aceita. Desta maneira, tanto as cargas médias das sextas-feiras anteriores ao feriado (C_{s-1}) quanto as das semanas posteriores ao feriado (C_{s+1}) podem ser utilizadas como referência do comportamento da carga esperado para o período caso o feriado não existisse. Em contrapartida, as comparações entre os dois grupos de controle (C_{s-1} , C_{s+1}) e o grupo das sextas-feiras após o feriado (C_s) resultou em uma probabilidade de 0,015% e 0,016%, respectivamente, de que as diferenças entre os níveis do fator

“Semana” sejam resultantes do acaso. Como ambas as probabilidades ficaram bem abaixo do nível de significância de 1% adotado, rejeita-se H_0''' e afirma-se H_1''' , confirmando que existe diferença significativa entre a carga média da semana após o feriado com a carga média das sextas-feiras das semanas anteriores e posteriores.

3.4 Conclusões

Este capítulo investigou a importância do fator “feriado na véspera” para explicar o comportamento da carga na sexta-feira seguinte a um feriado na quinta-feira. A análise de variância mostrou que, para os casos estudados, existem diferenças entre as carga média diária de sextas-feiras entre a semana anterior e a posterior ao feriado na quinta-feira. Na seqüência, o teste de Tukey foi aplicado para avaliar as diferenças entre cada uma das semanas. Neste, não foram encontradas evidências que possam diferenciar as cargas médias das sextas-feiras anteriores e posteriores ao feriado. Isto indica que não existe uma mudança significativa nos efeitos de fatores externos a pesquisa dentro do período estudado. Desta maneira, ambas podem ser utilizadas como referências do comportamento da carga no período em estudo, mas sem o efeito do feriado na véspera. Ainda no mesmo teste, quando ambas foram comparadas com as cargas médias de sexta-feira seguintes a um feriado, identificou-se diferenças significativas com os dois casos. Caso o feriado não provocasse efeito na sexta-feira seguinte, era esperado que os resultados fossem similares entre os três grupos. Entretanto, como esta diferença se mostrou presente, assume-se que o feriado em uma quinta-feira provoca um efeito significativo sobre a carga da sexta-feira seguinte. Isto comprova a hipótese deste trabalho.

Um modelo de previsão de carga utiliza a relação entre alguns fatores e o comportamento da carga. Para melhorar a qualidade da previsão, todos os efeitos observáveis e previsíveis que afetam significativamente a carga devem ser considerados na construção da solução de previsão. Este capítulo indicou que o efeito “feriado na véspera” provoca um efeito significativo na carga da sexta-feira seguinte. Desta forma, tal efeito deve ser considerado na elaboração de modelos de previsão que pretendam

realizar previsões sobre estas situações.

4 Previsão para sexta-feira pós feriados

4.1 Introdução

Os modelos de previsão de carga são construídos para projetar o comportamento da carga em função de condições passadas e previsões futuras de variáveis influentes. Antes de realizar a previsão, é necessário absorver a relação que envolve estas diversas variáveis de entrada com a carga. Os modelos de previsão observam como estas variáveis podem explicar o comportamento da carga ao longo de um período e extrapolam esta relação no passado para situações futuras. A explicação da carga em função destas variáveis envolve relações complexas e, normalmente, não lineares. Por este motivo, técnicas e modelos adequados a sistemas não lineares tendem a obter melhores resultados.

Redes Neurais Artificiais têm se mostrado uma das principais técnicas para o tratamento da previsão de carga de curto prazo. As redes neurais artificiais buscam explicar o comportamento da carga através de diversas variáveis de entrada. Para situações no passado, busca-se ajustar o modelo com o objetivo de reduzir um erro médio de previsão. No entanto, quando o sistema enfrenta uma situação não encontrada neste conjunto de treinamento, o comportamento da previsão é instável. O mesmo ocorre para situações raras no conjunto de treinamento. Como os modelos são ajustados por um erro médio, mesmo que quadrático, a situação padrão será privilegiada em detrimento a situações raras que pouco contribuem para o aumento do erro médio global. Estas situações raras sem dados representativos no conjunto de treinamento normalmente são tratadas por soluções específicas para cada caso que podem envolver desde um ajuste nas variáveis de entrada à adoção de uma nova tecnologia para a previsão. Dentre tais situações anormais, incluem-se as mudanças bruscas de temperatura e a ocorrência de feriados.

Para permitir a avaliação da qualidade da solução proposta, é necessário quantificar o erro obtido de uma previsão. Dentre as alternativas de agregação do erro, optou-se pela métrica MAPE (*mean absolute percentage error*), segundo a equação (3),

que quantifica o erro percentual absoluto médio da previsão, que é a métrica normalmente utilizada nos trabalhos da área.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{C'_i - C_i}{C_i} \right| \quad (3)$$

Na equação (3), “ n ” é o número de observações, “ C_i ” a carga real observada e “ C'_i ” a carga prevista.

Um dos objetivos deste trabalho é a proposição de uma solução adequada à previsão da curva de carga do dia entre o feriado e o final de semana, a exemplo de uma sexta-feira pós feriado. Este trabalho utiliza como condição inicial a existência prévia de um sistema de previsão de cargas adequado para uso em situações comuns. O sistema de previsão utilizado é parte integrante da infra-estrutura descrita por Oliveira (2004). Oliveira supõe que são diferentes os conjuntos ótimos de variáveis que explicam o comportamento da carga em cada ponto do sistema elétrico e em momentos distintos. Desta maneira, seu trabalho mostra um modelo que busca minimizar, através de um algoritmo genético, o erro da previsão ajustando quais variáveis de entrada serão utilizadas na previsão da carga para cada ponto do sistema elétrico. Nesta, uma rede neural artificial do tipo função de base radial é utilizada para projetar o comportamento da carga em um instante futuro. As previsões são sempre para a carga da meia hora seguinte. Apenas leituras de carga real são utilizadas para a previsão da primeira meia-hora. Para previsões mais longas, o sistema realimenta a previsão da última meia hora como uma leitura real e procede com a previsão. Assim, o tamanho da janela de previsão se torna arbitrário. Todavia, o erro tende a ser aumentado à medida que a previsão se distancia do ponto inicial. Neste trabalho, esta rede neural foi utilizada para prover as previsões, porém sem a funcionalidade de otimização de suas variáveis de entrada. Na rede neural empregada para proceder a previsão, foram utilizadas como variáveis de entrada, todas as variáveis utilizadas por Oliveira como entrada do algoritmo genético, exceto as variáveis relacionadas às condições climáticas. As variáveis climáticas não foram utilizadas devido à indisponibilidade de dados representativos do clima no Estado de Santa Catarina como um todo.

As variáveis temporais (meia hora do dia, dia da semana e semana do ano) são caracteristicamente cíclicas e foram representadas como ângulos em um círculo

geométrico, codificadas para a rede neural artificial como os respectivos seno e cosseno do mesmo. As variáveis relativas ao histórico da carga informam o comportamento recente da carga, bem como o seu comportamento na semana anterior. São fornecidas as leituras das últimas três meias horas, quatro leituras da semana anterior na mesma hora da previsão e outras quatro leituras do ano anterior (53 semanas). Além destas leituras absolutas foram oferecidas ao modelo as diferenças entre cada uma destas leituras e leitura da meia hora anterior, informando a velocidade da mudança do comportamento da carga. Por fim, ainda foram fornecidas as diferenças entre as diferenças, auxiliando o modelo com a aceleração da mudança no comportamento da carga. Seguindo o proposto por Oliveira, todas as variáveis foram normalizadas dentro do intervalo $[-1; 1] \in \mathbb{R}$.

Ao contrário do trabalho de Oliveira, focado em cargas nodais, a previsão foi elaborada para a carga total do Estado de Santa Catarina. Para quantificar a qualidade do sistema legado em dias normais, sem o efeito do feriado, foram realizadas previsões para sexta-feira da semana anterior ao feriado a partir da quinta-feira. Sob estas condições de simplificação, o sistema de previsão legado apresentou um erro de aproximadamente 2,5% MAPE na previsão da curva de carga, em intervalos de meia hora, do Estado de Santa Catarina.

Os feriados prolongados são eventos com algumas características que dificultam a sua aplicação em um modelo de previsão de carga. As técnicas de previsão de carga dependem de um conjunto de dados histórico que seja representativo para projetar as situações futuras. Entretanto, os feriados prolongados são eventos não periódicos e com baixa frequência. Com exceção de alguns feriados que seguem o calendário lunar, os feriados possuem datas fixas. Ao longo dos anos, estes feriados ocorrem em dias diferentes da semana e, conseqüentemente, diferentes feriados formam os feriados prolongados do ano. Apenas o feriado de Carnaval, terça-feira, e o *Corpus Christi*, quinta-feira, formam feriados prolongados todos os anos.

Além da ocorrência do feriado ser um fator significativo para explicar a carga da sexta-feira, existem outros fatores que alteram o comportamento do consumidor. As variáveis climáticas e a tendência de consumo em determinado período do ano também estão entre os fatores que devem ser tratados na previsão, mesmo diante de uma situação anormal de feriado prolongado. Desta maneira, assim como um sistema de

previsão para os dias comuns, a técnica a ser empregada para a sexta-feira após o feriado deve considerar tais fatores. Todavia, os sistemas de previsão legados normalmente já estão preparados para tratar estas situações. Seria possível reaproveitar o investimento realizado nesta infra-estrutura existente de previsão e adaptá-la para melhorar sua acurácia diante de um feriado prolongado?

O efeito de um feriado na véspera sobre uma sexta-feira já foi demonstrado como significativo. Apesar disto, ainda não é conhecido qual é o efeito que este fator provoca na curva da carga. Este efeito pode ser visualizado mostrando a diferença da curva da sexta-feira com e sem o efeito do feriado. Reapresenta-se o mesmo problema dos testes para detectar a significância deste fator: como obter uma curva de sexta-feira sobre as mesmas condições sem o efeito do feriado? Para o teste da significância do efeito do “feriado na véspera”, foi adotado como a curva de sexta-feira sem o efeito do feriado na véspera, as curvas das sextas-feiras anterior e posterior à semana do feriado. Na situação analisada anteriormente, a previsão não poderia ser utilizada pois as leituras próximas a alguns feriados, necessárias para a previsão, estavam severamente comprometidas em razão de problemas na qualidade dos dados. Além disto, como foi utilizada a carga média diária e não a curva da carga, as médias das sextas-feiras das semanas anteriores e posteriores eram pouco alteradas ao longo das semanas. A média anula algumas oscilações no formato da curva encontradas entre as semanas. Dado que neste estudo sobre a previsão é necessária uma maior resolução da carga, meias-horas ao invés de média diária, optou-se pela geração da curva da sexta-feira após o feriado através de uma previsão da curva de carga para dois dias à frente, a partir da meia-noite de quarta-feira e desconsiderando a ocorrência do feriado. A Figura 7 apresenta a diferença relativa entre as curvas de carga observadas através dos sensores do sistema elétrico e as obtidas pelo sistema de previsão.

Diferenças percentuais entre real e previsto

Previsão sem considerar o feriado

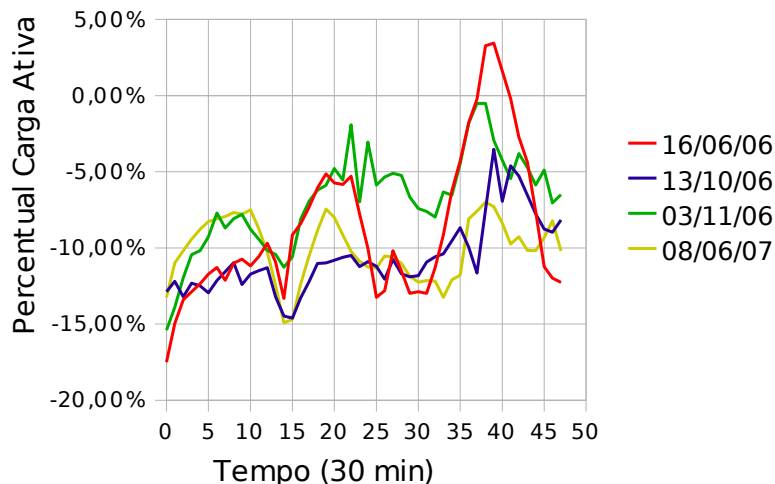


Figura 7: Diferença entre as sextas-feiras seguinte ao feriado e da semana anterior a este

A Figura 7 mostra que, para grande parte dos casos a previsão superestimou a carga pois não considerou a redução da demanda devido ao feriado. Não é esperado que as curvas estejam sobrepostas pois cada uma delas ocorre em épocas distintas. Fatores como a época do ano e características específicas de cada feriado podem influenciar estas curvas de diferença. Apesar de existir uma forte divergência entre as curvas da diferença, algumas possuem um formato semelhante, com subidas e descidas próximas. Este comportamento poderia ser generalizado a partir de situações passadas e utilizado em um caso futuro? Reescrevendo esta questão sob outro ponto de vista, seria possível explicar o efeito do “feriado na véspera” em função do horário, da época e de outras variáveis? Se isto for possível, a previsão do sistema legado pode ser ajustada para níveis mais próximos da realidade.

Concluindo, são levantados alguns questionamentos relacionados à previsão de carga das sextas-feiras após um feriado na quinta-feira, expostos a seguir e tratados à frente, ao longo do restante deste capítulo.

Questões:

- É possível reaproveitar a infra-estrutura existente de previsão e adaptá-la para melhorar sua acurácia diante de um feriado prolongado?

- É possível explicar o efeito do “feriado na véspera” em função do horário, da época e de outras variáveis?
- O efeito do feriado na quinta-feira sobre a sexta-feira seguinte ao mesmo pode ser generalizado a partir de situações passadas e utilizado em um caso futuro?

4.2 Modelo de previsão para a sexta-feira após o feriado na quinta-feira

Uma das questões deste capítulo é relativa ao reaproveitamento do sistema de previsão já existente. Com isso, todo o conhecimento e investimento já aplicados no mesmo pode ser aproveitado na previsão da sexta-feira após o feriado. Para tal, se faz necessário aplicar o efeito do feriado sobre uma curva de previsão do sistema legado. Isto leva à segunda e à terceira questão, relativa à possibilidade de generalização deste efeito. Este efeito pode ser explicado ou é resultado de interações não recorrentes ou mesmo caóticas? Pois se este efeito for caótico ou não recorrente não será possível extraí-lo de uma situação passada e aplicá-lo a um caso futuro.

O efeito do feriado sobre a carga do dia seguinte pode ser representado como uma função que mapeia a curva esperada para uma sexta-feira, caso o feriado não existisse, para a curva de carga real da sexta-feira após o feriado. Entretanto, com base na Figura 7, é possível observar que o fator “feriado na véspera” interage com outras variáveis. Caso contrário, o gráfico do efeito seria similar a uma reta e não a curvas diversas. Devido às oscilações observadas nas curvas, durante um mesmo dia, supõe-se que a hora do dia seja um fator importante na interação com o fator “feriado na véspera”. Como as curvas estão alteradas entre os diversos feriados, assume-se que a época do ano também seja um fator importante. Diante disto, a função que aplica o efeito do fator “feriado na véspera” deve considerar, além da carga prevista pelo sistema legado, estes diversos fatores, onde incluem-se os dois já mencionados. Esta função pode ser apresentada pela equação (4) que segue:

$$Carga_{com\ Efeito}(t) = f(Carga_{sem\ Efeito}(t), HoraDoDia(t), SemanaDoAno(t), ...) \quad (4)$$

Onde a $Carga_{semEfeito}(t)$ representa a previsão do sistema legado no instante “t” e a $Carga_{comEfeito}(t)$, a previsão do esperado para a sexta-feira no mesmo instante “t”. Além disto, esta função recebe as demais variáveis disponíveis que interagem com o efeito do fator “feriado na véspera” como a hora do dia e a semana do ano. As variáveis ocultas da Equação 4 serão detalhadas posteriormente.

Devido às características não lineares do comportamento da carga, esta função de aplicação do efeito foi esperada como uma relação não linear. Por este motivo, para a construção desta função, optou-se inicialmente pelo uso da técnica de redes neurais artificiais. Desta, foi utilizado o modelo Perceptron de múltiplas camadas, treinado pelo algoritmo baseado nos trabalhos de Levenberg e Marquardt (LVMQ) (HAGAN; MENHAJ, 1994). Este algoritmo acelera a velocidade de convergência do treinamento, normalmente reduzindo da casa do milhar para a da dezena a quantidade de épocas necessária para o treinamento. O critério de parada utilizado no treino foi a verificação do erro médio em um conjunto de validação. Esse conjunto foi obtido extraindo-se do conjunto de treinamento a sexta-feira relativa à semana do ano mais próxima da sexta-feira a ser prevista. O treinamento prossegue enquanto o erro desse conjunto de validação continua abaixando. Quando esse passa a aumentar, o treinamento é finalizado. A rede neural artificial construída possui uma saída única que representa a carga esperada para o mesmo instante da previsão de entrada. Desta forma, para obter o ajuste de toda a curva, a mesma rede neural é utilizada para cada meia hora da curva prevista pelo sistema legado.

As soluções de previsão de carga normalmente são avaliadas realizando previsões no passado e comparando seus resultados com o observado. Estas previsões projetam o comportamento com base somente em dados anteriores ao instante a ser previsto, pois em um sistema real dados de carga no futuro não estão disponíveis. No histórico disponível para este trabalho, ao longo de cinco anos (janeiro/2003 a julho/2007), existem disponíveis apenas dez casos de feriados em quinta-feira. Destes, os três primeiros casos foram descartados por apresentarem leituras não confiáveis e em outro patamar de carga. Com apenas os sete casos restantes e utilizando exclusivamente dados anteriores ao período a ser previsto, somente as ocorrências mais recentes possuíam casos suficientes para realizar uma previsão. Desta maneira, a avaliação da

solução poderia ser prejudicada por falta de exemplos. Por este motivo, nos treinamentos para a previsão de um caso qualquer de sexta-feira após o feriado foram utilizadas todas as demais seis sextas-feiras, sendo uma destas empregada exclusivamente para validação. Diferentemente da previsão de dias comuns, estes casos de previsão estão isolados no tempo. A adição no conjunto de treinamento de um caso de feriado prolongado mais recente do que o caso a ser previsto não implica em fornecer ao treinamento dados a serem previstos.

Diversas combinações de configuração da rede neural Perceptron de múltiplas camadas foram avaliadas. Contudo, com o uso deste modelo de rede neural não se obteve uma boa generalização do efeito do feriado. Sendo assim, buscou-se novas fontes de informação que auxiliassem na explicação do efeito em estudo. Supondo que a previsão fosse realizada na meia-noite da sexta-feira, já estaria disponível, além da previsão de quinta-feira sem considerar o feriado, a curva real do feriado. Com a curva prevista sem considerar o feriado e a curva real do feriado, seria possível avaliar o impacto do feriado sobre a demanda por potência. Esta informação sobre o impacto do feriado na carga pode ser útil para auxiliar na explicação do efeito de um feriado sobre a sexta-feira. Entretanto, esta informação da curva da carga para o feriado não estaria disponível para previsões iniciadas anteriormente ao feriado. Para estes casos, esta curva poderia ser substituída por uma previsão do feriado utilizando alguma técnica propícia para esta situação. Como este trabalho não estuda a previsão de feriados, mas sim o dia seguinte a este, assume-se que as previsões serão realizadas na meia-noite de quinta-feira para sexta-feira onde a curva de carga do feriado já está disponível.

As variáveis de entrada que foram utilizadas na rede neural artificial para aplicar o efeito do feriado na véspera sobre a carga da sexta-feira pós feriado são as seguintes:

- **Meia hora do dia:** seqüencial da meia hora no dia corrente. Informa em qual instante do tempo a previsão deverá ser realizada. Normalizada em ângulos de um círculo geométrico, onde 24 horas é representado como 2π radianos, e utilizada através de duas variáveis codificadas como o seno e o cosseno dos ângulos;
- **Semana do ano:** semana referente ao ano corrente. Informa qual época do

ano uma sexta-feira ocorreu. Auxilia na indicação da proximidade e da semelhança entre os feriados. Assim como a meia hora do dia, normalizada em ângulos de um círculo geométrico, onde 53 semanas é representado como 2π radianos, e utilizada através do seno e do cosseno dos ângulos;

- **Âncora temporal:** semana do ano acumulada ao longo dos anos. Como o conjunto de treinamento ultrapassa o limite de um ano, esta variável pode auxiliar na explicação do crescimento anual na demanda;
- **Previsão da quinta-feira (feriado) sem considerar a ocorrência do feriado:** previsão do sistema legado sem considerar o feriado um dia antes da meia hora do dia a ser ajustada;
- **Leitura da quinta-feira (feriado):** leitura real, quando disponível, ou demanda de carga prevista para o dia do feriado referentes ao instante um dia antes da meia hora do dia a ser ajustada;
- **Previsão da sexta-feira (pós feriado) sem considerar a ocorrência do feriado:** previsão do sistema legado sem considerar o feriado na meia hora do dia a ser ajustada.

Todas as variáveis foram normalizadas no intervalo $[-1;1] \in \mathbb{R}$, para se adequar a estrutura da rede neural artificial utilizada.

A introdução das variáveis “leitura da quinta-feira” e “previsão da quinta-feira” possibilitaram bons resultados para todos os casos estudados. Porém o modelo inicialmente utilizado apresentava um treinamento instável. Produzia bons resultados, entretanto estes não eram constantes. Foram feitas tentativas de ajustes em diversos parâmetros do modelo e, inclusive, a experimentação de outros algoritmos de treinamento, mas com os mesmos parâmetros, em apenas alguns treinamentos a rede neural artificial retornava resultados aceitáveis. Acredita-se que tal comportamento esteja relacionado à pequena quantidade de casos disponíveis para o treino. Assim, a rede neural artificial pode tentar explicar, em alguns treinamentos, o comportamento da carga por relações inexistentes. Contudo, foi observada uma tendência de melhora nos resultados à medida que era reduzido o número de neurônios da camada oculta. Quanto mais simples se tornava a estrutura da rede neural artificial, mais estáveis se tornavam

os resultados. Sendo assim, o modelo inicialmente utilizado foi substituído por uma rede neural mais simples, do tipo Perceptron mas sem camadas ocultas, com apenas as camadas de entrada e saída da rede. Com esta simplificação, o treinamento da rede neural finalmente se estabilizou e a rede passou a apresentar bons resultados para todos os casos em estudo. Cabe ressaltar que a acurácia da previsão dos resultados obtidos com os dois modelos não é equivalente. O modelo múltiplas camadas, mais complexo, obteve alguns casos com erro menor mas foi preterido em prol do modelo simplificado, porque este se mostrou mais estável, provendo assim uma maior confiança nas previsões. A Figura 8 ilustra a arquitetura do modelo neural, sem a camada oculta, utilizado.

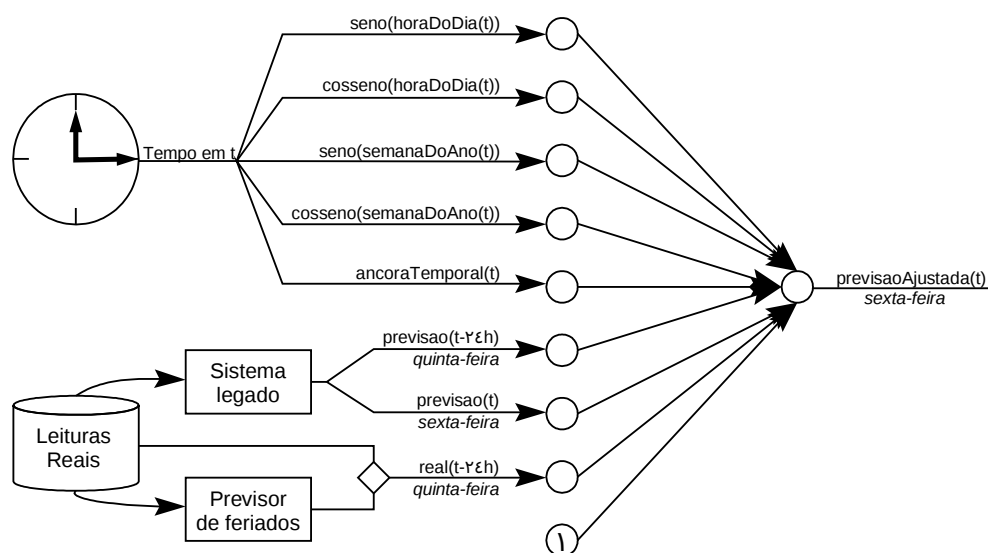


Figura 8: Esquema da rede neural artificial para a solução proposta

A rede neural artificial representada na Figura 8 é composta de apenas uma camada de entrada e outra de saída. Além dos sinais de entrada, o neurônio de saída recebe um sinal sempre em 1 (*bias*) para evitar que a saída seja obrigatoriamente zero quando as entradas assim o forem. Isto auxilia no deslocamento vertical da saída da rede neural artificial. A entrada da rede é composta por oito neurônios: cinco relacionadas ao instante “ t ” que está sendo previsto e três ao comportamento da carga. Das variáveis temporais, as duas primeiras representam o ciclo diário e as duas seguintes a semana do ano, ambos os pares codificados pelo seno e cosseno do ângulo. Uma última variável temporal indica a posição de “ t ” na linha do tempo. Em relação ao comportamento da

carga, a rede neural recebe a previsão do sistema legado sem considerar a ocorrência do feriado para o instante “ $t-24h$ ” (carga da quinta-feira na mesma meia-hora da sexta-feira) e a carga prevista em “ t ” (carga da sexta-feira na mesma hora correspondente), novamente sem considerar o feriado. Por último, é informada a carga de quinta-feira “ $t-24h$ ”, real ou estimada utilizando alguma técnica de previsão de feriados. Se a previsão da sexta-feira for realizada a partir da meia-noite de quinta-feira, parte da curva do feriado já estará disponível e pode ser reaproveitada para melhorar a exatidão da previsão.

4.3 Resultados

Estavam disponíveis para a realização deste trabalho dez feriados de quinta-feira, ocorridos entre janeiro de 2003 e julho de 2007, e que caracterizaram um feriado prolongado. Dentre esses casos, os três primeiros foram desconsiderados porque apresentavam leituras inconsistentes. Assim, como anteriormente exposto, o modelo proposto foi aplicado somente para os últimos sete casos disponíveis. Para estes, utilizou-se o sistema legado para realizar uma previsão de dois dias à frente, sem considerar o feriado, a partir da meia-noite da quinta-feira até imediatamente antes da meia-noite de sábado. Esta curva prevista que não considera o feriado e a respectiva curva real observada na quinta-feira foram utilizadas como entrada da rede neural em conjunto com as demais variáveis temporais. O modelo proposto possui apenas uma saída, e assim, este foi aplicado para cada meia hora da previsão do sistema legado. Em cada situação, um caso de feriado prolongado foi separado para controlar o treino (validação), cinco casos foram utilizados para o treino da rede neural artificial e o último aplicado para testar o modelo. Esta seção mostra o resultado da previsão deste último caso não utilizado no treinamento.

4.3.1 Sexta-feira após feriado de Tiradentes em 2005

A solução de previsão proposta foi aplicada inicialmente para a sexta-feira após Tiradentes de 21/04/2005. A Figura 9 apresenta as curvas da carga real, da previsão do sistema legado sem considerar o feriado na véspera e da solução de previsão proposta.

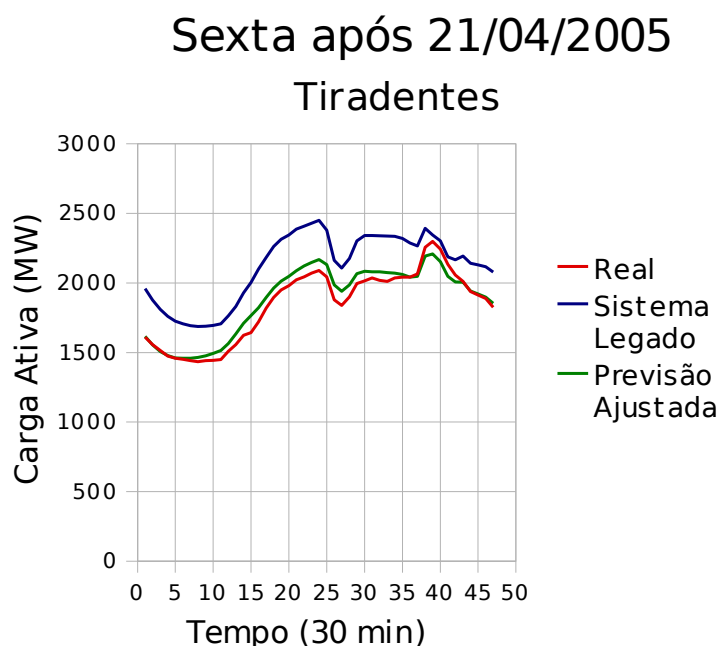


Figura 9: Curva da carga real e as previsões do sistema legado e da solução proposta para o dia 22/04/2005

Seguindo a tendência de carga da semana anterior, o sistema legado projetou uma curva com carga acima do realmente observado nesta sexta-feira. Como a previsão do sistema legado não considerou o feriado na véspera, a previsão reproduziu esse comportamento de carga elevada. Já a previsão ajustada resultante da aplicação do efeito na previsão do sistema legado aproximou a curva projetada da observada na sexta-feira. A previsão ajustada ainda apresenta uma projeção elevada da carga durante o dia e uma projeção reduzida da carga de pico noturno. Apesar disto, a acurácia desta segunda previsão é melhor do que a obtida sem considerar a ocorrência do feriado.

4.3.2 Sexta-feira após feriado de *Corpus Christi* em 2005

A Figura 10 apresenta os resultados para o caso seguinte: feriado após *Corpus Christi* do dia 26/05/2005.

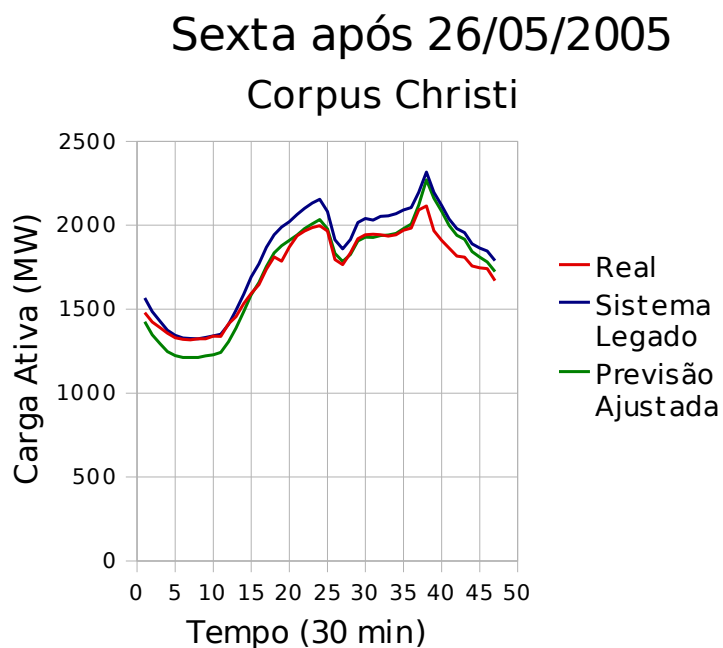


Figura 10: Curva da carga real e as previsões do sistema legado e da solução proposta para o dia 27/05/2005

Nesta situação, a carga durante a madrugada foi muito próxima da prevista pelo sistema legado e para este período a aplicação da solução proposta piorou a previsão. Porém, a partir das 7 horas, a curva prevista pelo sistema legado se eleva em relação a curva real ao passo que a curva da previsão adaptada oscila ao redor da curva real durante todo o restante do dia. Somente a partir do pico noturno até a madrugada para sábado a previsão ajustada volta a divergir da curva real mas, desta vez, com uma projeção acima do observado.

4.3.3 Sexta-feira após feriado de *Corpus Christi* em 2006

Durante o restante de 2005, não ocorreram novos feriados na quinta-feira. Assim, a próxima sexta-feira estudada foi a seguinte a *Corpus Christi* de 15/06/2006. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 11.

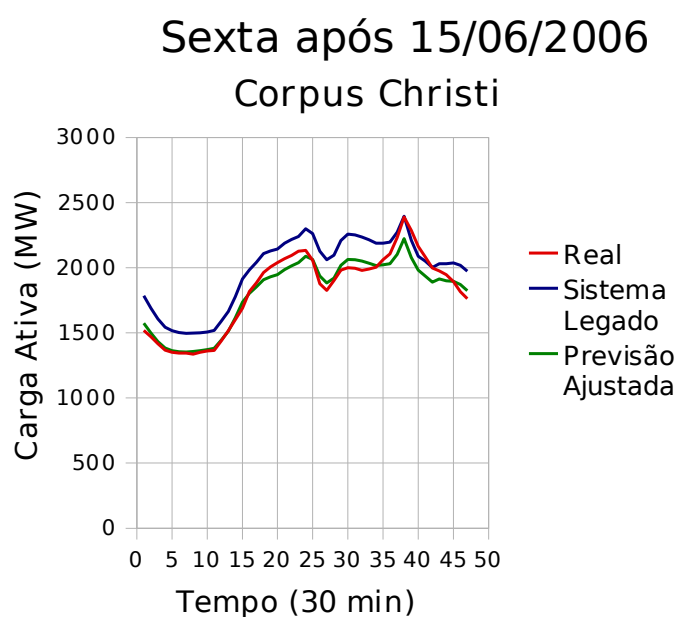


Figura 11: Curva da carga real e as previsões do sistema legado e da solução proposta para o dia 16/06/2006

Como nos demais casos, a previsão sem considerar o feriado ficou acima da demanda real observada para sexta-feira. Em relação à previsão ajustada, ao contrário do último *Corpus Christi*, a projeção oscilou ao redor da curva observada desde a madrugada, com pequenos desvios para baixo durante a manhã e para cima no período matutino. Assim como no primeiro caso referente a Tiradentes, o pico noturno ficou próximo ao encontrado para os dias distantes do feriado e, por este motivo, próximo à previsão do sistema legado.

4.3.4 Sexta-feira após feriado da Independência Nacional em 2006

O ano de 2006, ao contrário de 2005, apresentou ainda três feriados na quinta-feira após o de *Corpus Christi*. Os feriados do dia da Independência Nacional, de Nossa Senhora Aparecida e de Finados coincidem no dia da semana e, neste ano, ocorrem em uma quinta-feira. A primeiro caso pode ser observado na Figura 12.

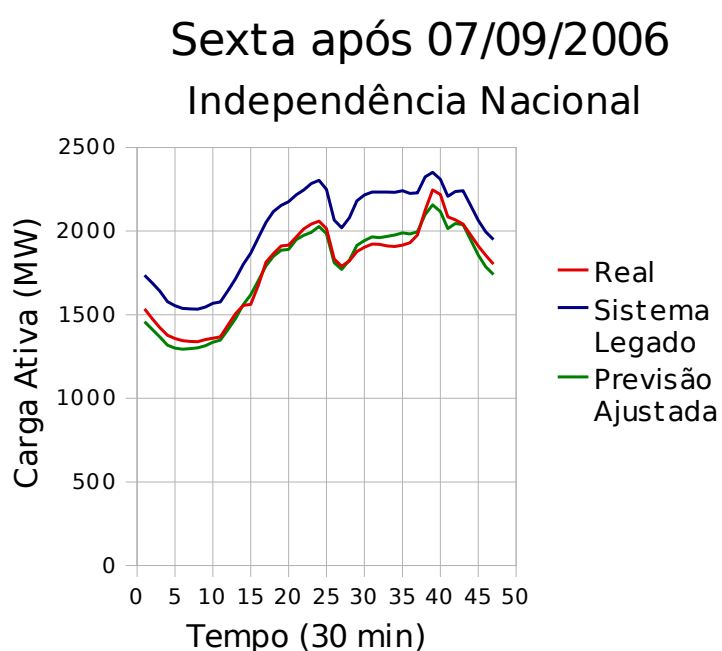


Figura 12: Curva da carga real e as previsões do sistema legado e da solução proposta para o dia 08/09/2006

Para o feriado da Independência, a previsão do sistema legado para a sexta-feira pós feriado novamente apresentou um desvio para cima da demanda observada. Entretanto, a previsão ajustada apresentou-se próxima à demanda real durante todo o dia. Os desvios desta previsão foram principalmente no período da tarde e no pico noturno que, assim como em situações passadas, apresentou, respectivamente, uma projeção acima e abaixo da real.

4.3.5 Sexta-feira após feriado de Nossa Senhora Aparecida em 2006

O próximo feriado é o de Nossa Senhora Aparecida que coincide com o Dia das Crianças. A Figura 13 mostra as curvas para a sexta-feira do dia 13/10/2006.

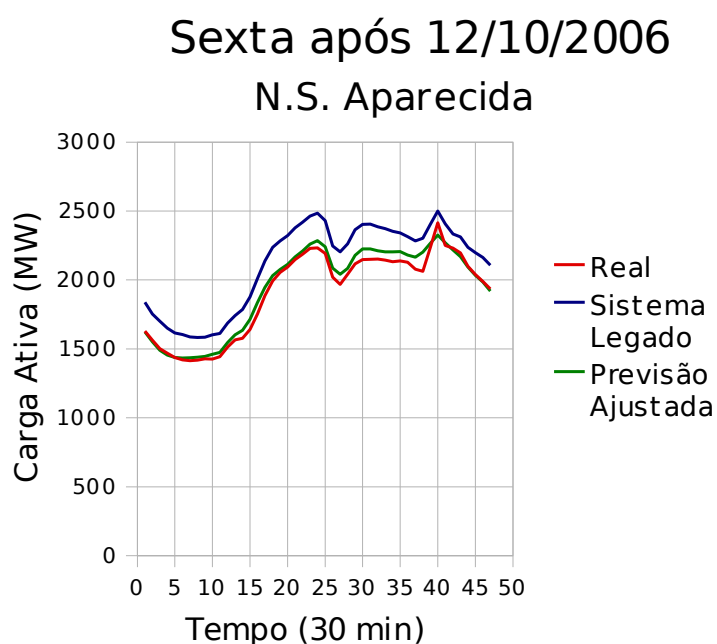


Figura 13: Curva da carga real e as previsões do sistema legado e da solução proposta para o dia 13/10/2006

O comportamento da solução é similar ao encontrado para o feriado da Independência. A previsão ajustada apresentou desvios no período matutino e durante o pico noturno. Porém, diferente deste último feriado, o pico do meio dia foi projetado acima da demanda real. A previsão ajustada para o restante do dia apresentou um comportamento próximo à demanda real. A previsão do sistema legado ficou novamente acima da demanda real com desvios de até 10% no pico do meio dia, muito superior ao obtido com a aplicação da solução.

4.3.6 Sexta-feira após feriado de Finados em 2006

O último feriado do ano ocorrido na quinta-feira foi o de Finados em 02/11/2006. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 14.

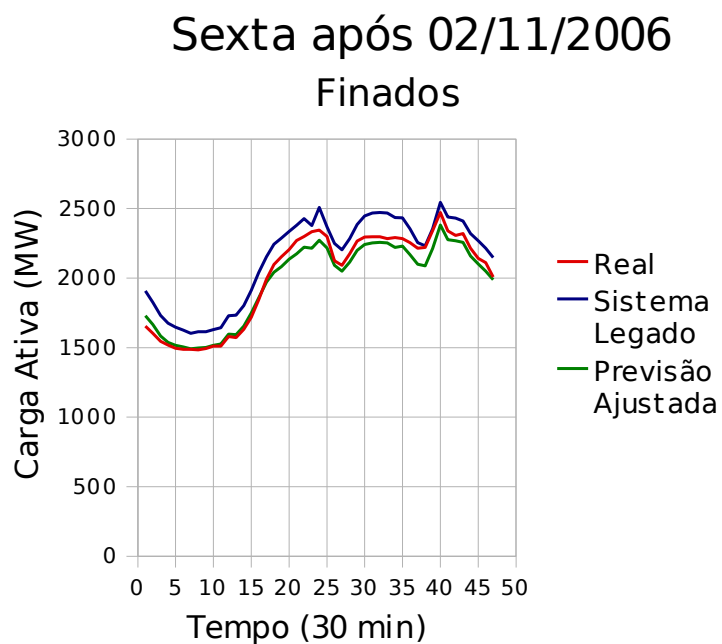


Figura 14: Curva da carga real e as previsões do sistema legado e da solução proposta para o dia 03/11/2006

No dia seguinte ao feriado, a previsão ajustada apresentou um ligeiro desvio para baixo da demanda real desde o começo da manhã até a meia-noite. Apesar disto, o erro de previsão da curva de carga com o sistema proposto ainda é muito menor que o erro entre a previsão do sistema legado e a carga real.

4.3.7 Sexta-feira após feriado de *Corpus Christi* em 2007

O último feriado estudado foi *Corpus Christi* de 2007 (Figura 15).

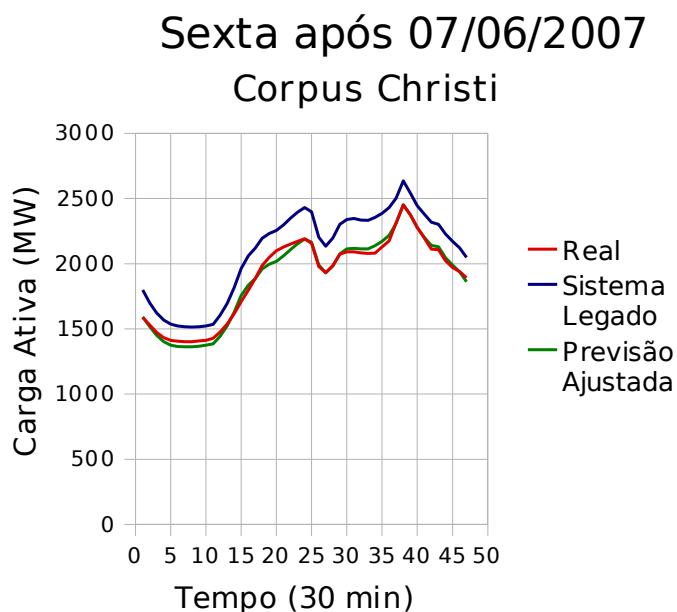


Figura 15: Curva da carga real e as previsões do sistema legado e da solução proposta para o dia 08/06/2007

A solução aplicada para a sexta-feira após esse feriado apresentou o melhor resultado de todos os demais. Os picos ao meio-dia e o noturno coincidiram entre a previsão ajustada e a demanda real. Acredita-se que esta melhor previsão seja o resultado da combinação de dois fatores. Primeiramente, como o feriado de *Corpus Christi* ocorre todos os anos na quinta-feira, sempre ocorrem os feriados prolongados. Assim, este caso seria a situação com melhor representatividade nos dados históricos. Por este motivo, espera-se que as previsões sejam melhores para estas sextas-feiras do que para as sextas-feiras seguintes aos demais feriados. Um outro motivo refere-se à melhora na qualidade dos dados. Ao longo do tempo, o sistema de coleta de dados tornou-se mais confiável e suas leituras passaram a apresentar resultados mais condizentes com a realidade. Assim, com a redução dos erros inerentes aos dados, obtém-se naturalmente uma melhora da qualidade das previsões. Como todos os demais casos, a previsão do sistema legado que não considerou o feriado foi muito acima da demanda real.

4.3.8 Consolidação dos resultados

Os gráficos apresentados mostram uma maior proximidade da previsão ajustada que da previsão do sistema legado. Utilizando a métrica MAPE, declarada anteriormente na Equação 3, Seção 4.1, pode-se quantificar as melhoras entre a solução apresentada e a previsão sem considerar o feriado. O MAPE para ambas as previsões, para cada caso estudado, é mostrado na Tabela 4. Esta tabela ainda destaca as sextas-feiras não utilizadas devido a inconsistências nos dados gerados pelo sistema de coleta de dados.

Sexta-feira	Feriado na véspera	MAPE		Diferença (p.p. ⁷)
		Sistema legado	Solução proposta	
02/05/03	Dia do Trabalhador	Não utilizado por inconsistências nas leituras		
20/06/03	Corpus Christi	Não utilizado por inconsistências nas leituras		
11/06/04	Corpus Christi	Não utilizado por inconsistências nas leituras		
22/04/05	Tiradentes	15,16%	2,78%	12,38%
27/05/05	Corpus Christi	5,56%	3,81%	1,74%
16/06/06	Corpus Christi	9,01%	2,78%	6,24%
08/09/06	Independência	12,90%	2,40%	10,50%
13/10/06	N.S. Aparecida	10,64%	2,10%	8,54%
03/11/06	Finados	6,88%	2,43%	4,45%
08/06/07	Corpus Christi	10,09%	1,44%	8,64%
Média		10,03%	2,54%	7,50%
Desvio Padrão		3,31%	0,73%	2,58%

Tabela 4: MAPE entre o sistema legado e a solução proposta

A Tabela 4 mostra uma redução no MAPE da previsão após a aplicação do efeito do feriado pela solução proposta. Em média, a introdução da solução reduziu em 7,5% o MAPE da previsão do sistema legado. Com isto, o erro médio da previsão ficou próximo do encontrado na previsão para dias normais que é de 2,5% MAPE. Observando o desvio padrão, pode-se observar que além da redução do erro, a solução reduziu a variabilidade dos erros. Com esta maior estabilidade, é possível determinar uma margem de erro mais estreita para a curva de carga prevista. No entanto, ainda que

⁷ p.p. - Pontos percentuais

a solução tenha, em média, reduzido o MAPE em 75%, optou-se por uma avaliação estatística para identificar se esta melhoria foi significativa em relação a não utilização da solução.

Diferentemente da avaliação da significância do efeito do “feriado na véspera”, neste caso existem apenas dois grupos para serem comparados. No primeiro, as previsões não consideraram o feriado na véspera. Já no segundo grupo, estas mesmas previsões foram ajustadas para aplicar o efeito do feriado na véspera. Temos um grupo “sem” e outro “com” o fator “aplicação do efeito do feriado na véspera”. Sendo assim, foi escolhido o teste t para dados pareados a fim de detectar se a redução no MAPE foi significativa. Similarmente ao teste ANOVA, o teste t para dados pareados declara duas hipóteses. Uma primeira, hipótese nula, de que não existe diferenças entre os dois grupos avaliados (H_0). Uma segunda (H_1), complementar a primeira, declara que esta diferença existe. Toda a avaliação é feita sobre a diferença entre as leituras do primeiro grupo com as leituras correspondentes do segundo grupo. O teste t calcula a probabilidade destas diferenças ocorrerem por acaso. Nesta situação, as diferenças se comportariam como uma distribuição com média zero. Caso esta probabilidade esteja abaixo do nível de significância adotado, a hipótese H_0 é rejeitada e H_1 é aceita. A probabilidade de H_0 ser verdadeira pode ser obtido através da Equação 5. Nesta, $Y_{a,i}$ representa o i -ésimo elemento do primeiro grupo, $Y_{b,i}$ representa o i -ésimo elemento do segundo grupo e “ n ”, o número de casos igual para ambos os grupos.

$$\begin{aligned}
 media_{diferenca} &= \frac{\sum_{i=1}^n Y_{a,i} - Y_{b,i}}{n} \\
 desvioPadrao_{diferenca} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{a,i} - Y_{b,i}) - n \cdot (media_{diferenca})^2}{n-1}} \\
 t &= \frac{media_{diferenca} \cdot \sqrt{n}}{desvioPadrao_{diferenca}} \\
 p &= distribuicao\ t(t, n-1)
 \end{aligned} \tag{5}$$

Como nos testes anteriores, foi adotado o nível de significância de 1%. Porém,

ao contrário do teste da significância do efeito do feriado, neste, apenas a alternativa de redução do erro é relevante. Assim, foram levantadas as seguintes hipóteses:

- H_0 : A introdução da solução não reduz o erro MAPE de uma previsão para a sexta-feira após o feriado;
- H_1 : A introdução da solução reduz o erro MAPE de uma previsão para a sexta-feira após o feriado.

O teste t para dados pareados supõe que as diferenças entre os grupos avaliados se comporte como uma variável normal, neste caso, a diferença do MAPE. Se a variável divergir de uma distribuição normal, os resultados do teste podem ser prejudicados. Assim foi construído um gráfico de probabilidade normal para as diferenças do MAPE. O resultado pode ser observado na Figura 16.

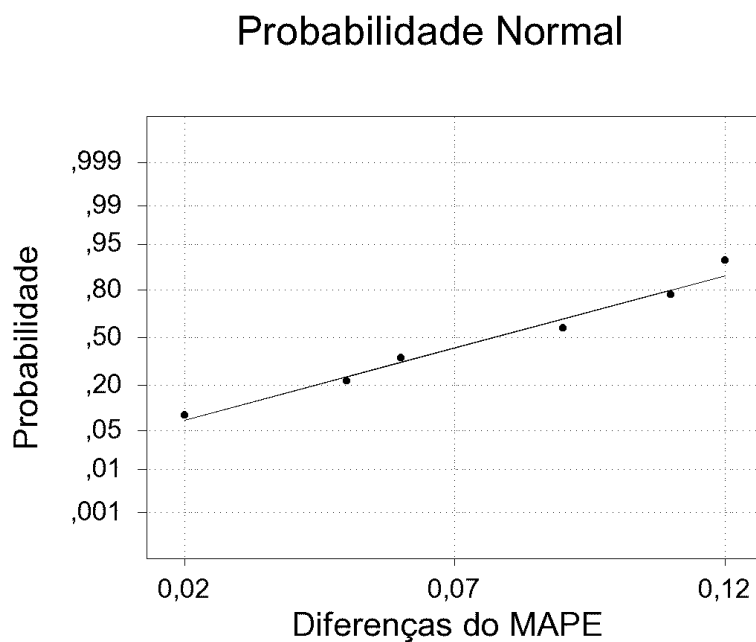


Figura 16: Gráfico de probabilidade normal das diferenças do MAPE

Quanto mais próximos os pontos da Figura 16 estiverem da reta, mais este conjunto de dados seguirá um comportamento de uma distribuição normal. Apenas a maior das diferenças se afastou levemente da reta da normal. Este caso representa o primeiro feriado onde a solução foi aplicada (sexta-feira após Tiradentes de 2005). A previsão ajustada neste caso é similar à encontrada em outras sextas-feiras. Esta

diferença elevada foi resultado de uma previsão de baixa qualidade do sistema legado, provavelmente devida a problemas ainda freqüentes, neste período, do sistema de coleta de dados. Dada a proximidade das diferenças à curva da normal, afirma-se que as diferenças da medida MAPE entre os dois grupos se comporta de acordo com uma distribuição normal. Sendo assim, foi aplicado o teste t para dados pareados obtendo os resultados mostrados na Tabela 5.

	Média	Desvio Padrão	N ⁸	Diferença ⁹	Desvio Padrão da Diferença ¹⁰	t ¹¹	GL ¹²	p ¹³
Previsão do sistema legado	10,03 %	3,31%						
Previsão ajustada	2,54%	0,73%	7	7,50%	3,63%	5,46	6	0,0008

Tabela 5: Teste t para significância da diferença entre o MAPE antes e depois da introdução da solução.

Os resultados da Tabela 5 indicam uma probabilidade de apenas 0,08% de que as diferenças do MAPE tenham variado ao acaso. Como esta probabilidade se situa muito abaixo do limite aceito de 1%, rejeita-se a hipótese H_0 de que o MAPE não foi reduzido. Afirma-se, então, H_1 e que o uso da solução reduziu significativamente o MAPE de uma previsão que não considerava o fator “feriado na véspera”. Fica, portanto, verificada a eficácia da solução proposta para melhoria da previsão da sexta-feira diante de um feriado na véspera.

4.4 Conclusão

O capítulo anterior mostrou que um feriado na quinta-feira, no sul do Brasil, afeta significativamente a carga da sexta-feira seguinte e portanto este fato deve ser considerado em modelos de previsão de carga para sistemas de potência. Este capítulo

8 Tamanho da amostra

9 Diferença entre as médias

10 Desvio padrão das diferenças entre os elementos do primeiro e do segundo grupo

11 Estatística do teste (t)

12 Graus de liberdade

13 Probabilidade de significância

apresenta uma solução para melhorar a qualidade da previsão para estas situações, e que leva em consideração o fator “feriado na véspera”.

A solução proposta é baseada em uma rede neural artificial e aplica o efeito do fator “feriado na véspera” em uma previsão da sexta-feira após o feriado realizada sem considerar a ocorrência do feriado. Através da observação de situações passadas, a rede neural artificial identifica a relação entre uma previsão que não considera o feriado e a demanda efetivamente ocorrida. Diversas variáveis foram utilizadas para auxiliar nesta explicação do efeito do fator “feriado na véspera” como o “horário do dia”, a “época do ano” e o efeito do feriado sobre a carga do próprio dia. Além destes fatores, a demanda de carga possui relação com variáveis climáticas e tendências locais de demanda de carga. Assim como a previsão do sistema legado não utilizou variáveis climáticas devido à ausência de representação do clima do Estado, tais variáveis também foram desconsideradas na solução proposta.

Apesar da aparente complexidade do problema, para o estudo de caso realizado, uma rede neural artificial sem camadas ocultas mostrou-se suficiente para obter uma melhora significativa na qualidade da previsão. No estudo de caso, a solução reduziu os erros encontrados para as sextas-feiras após o feriado na quinta-feira de um MAPE aproximado de 10% para 2,5%. O modelo proposto não apresenta o mesmo nível de acurácia para todos os períodos do dia estudado, tendo apresentado maior erro no ajuste principalmente no período noturno. Porém, apesar destes problemas, a adoção da solução melhorou significativamente a qualidade da previsão que não considera o feriado na véspera. Ainda, ao utilizar a previsão de um sistema existente, a solução preserva e reaproveita os investimentos feitos para a melhoria deste sistema legado. Melhorias na qualidade da previsão do sistema legado provavelmente resultarão em melhorias da resposta desta solução.

5 Considerações Finais

5.1 Conclusões

Este trabalho mostra que a ocorrência de um feriado na quinta-feira afeta o comportamento da carga na sexta-feira seguinte. A significância do efeito do feriado na quinta-feira sobre a sexta-feira seguinte foi verificada por meio da ferramenta estatística análise de variância com medidas repetidas em conjunto com o teste de Tukey HSD. A partir do conjunto de dados disponível, foram criados três grupos de dados referentes às sextas-feiras: (C_s) sexta-feira seguinte ao feriado, (C_{s-1}) sexta-feira da semana anterior ao feriado e (C_{s+1}) sexta-feira da semana posterior ao feriado. A análise de variância mostrou que existe uma diferença significativa da carga média das sextas-feiras em ao menos um dos três grupos em relação aos demais. Na sequência, o teste de Tukey foi utilizado para efetuar comparações duas a duas entre todos os grupos de sextas-feiras. Os resultados das comparações entre as sextas-feiras comuns não encontraram evidências que indiquem uma diferença significativa na média diária da carga entre os grupos (C_{s-1}) e (C_{s+1}). Todavia, quando estas foram comparadas com as sextas-feiras seguintes a feriados, foram identificadas diferenças significativas com ambos os grupos de sextas-feiras comuns. Esta diferença foi provocada por algo único do grupo (C_s). Como o único fator conhecido que diferencia as sextas-feiras (C) das demais sextas-feiras (C_{s-1} , C_{s+1}) é a presença de um feriado no dia anterior, afirma-se que as diferenças significativas sejam efeito da ocorrência um feriado na véspera. Isto confirma a hipótese de trabalho que supõe um efeito do feriado sobre a curva de carga do dia entre o feriado e o final de semana. Também fica esclarecida a questão (i), referente à significância do efeito do feriado na quinta-feira sobre a sexta-feira seguinte e atingido o objetivo específico (1), que trata dos testes para responder a questão (i). A partir da constatação de que o feriado na véspera é um fator significativo para explicar o comportamento da carga da sexta-feira do feriado prolongado, fica aparente a necessidade de tal fator ser considerado nos modelos de previsão de carga.

Os feriados prolongados são eventos de baixa frequência e sem uma periodicidade anual. Dependendo do ano corrente, diferentes feriados formam os feriados prolongados. Desta forma, esta falta de casos representativos dificulta a explicação do comportamento da carga durante um feriado prolongado. Como a literatura consultada não apresentou uma solução aplicável para o caso, este trabalho propôs uma nova solução de previsão especializada em sextas-feiras após um feriado. A solução proposta aplica na resposta de um sistema de previsão existente apenas o efeito do feriado na véspera. A tecnologia adotada foi uma rede neural artificial Perceptron sem camadas ocultas treinada com o algoritmo baseado nos métodos de Levenberg e Marquardt. Observando a diferença entre a curva de carga prevista sem considerar o feriado e a da curva de carga real nas sextas-feiras após o feriado, a solução foi capaz de absorver o efeito do fator “feriado na véspera”. Os resultados obtidos com a solução proposta mostraram uma redução média do erro MAPE de 10% para 2,5%, para a previsão da curva da carga do Estado de Santa Catarina para o dia em questão. Este valor de 2,5% para o MAPE é próximo ao obtido pelo sistema de previsão legado para dias comuns e cujas previsões foram utilizadas neste trabalho. Ainda através de um teste t para dados pareados, foi mostrado que é significativa a redução obtida para o erro da previsão da sexta-feira após o feriado. Os objetivos específicos (2), referente a proposta e construção do modelo de previsão, e (3), relacionado a avaliação da melhoria do modelo proposto, foram atingidos. Assim, a questão (ii), sobre a possibilidade de melhorar a acurácia da previsão de um sistema que não considerava a ocorrência do feriado na véspera, foi respondida.

Os resultados obtidos basearam-se exclusivamente em informações temporais e de histórico da carga. O uso da curva de carga prevista e real do feriado para a previsão da sexta-feira se mostrou importante para auxiliar a rede neural a aprender sobre a relevância de determinado feriado para a explicação do comportamento da carga. Outras fontes de informação para auxiliar na explicação do comportamento da carga, como variáveis climáticas, não foram utilizadas pois não estavam disponíveis durante o desenvolvimento deste trabalho. Contudo, para situações onde estas forem acessíveis, deve-se procurar utilizá-las tanto na previsão do sistema legado quanto na entrada para a rede neural artificial especializada na aplicação do efeito do feriado prolongado. Desta maneira, as possíveis interações entre o efeito do “feriado na véspera” e as condições

climáticas podem também ser tratadas pela solução.

Apesar de os resultados obtidos serem referentes à realidade do Estado de Santa Catarina, acredita-se que as conclusões possam ser extrapoladas para as demais regiões do país. A característica de adotar os feriados prolongados não é uma característica regional. Em todos os Estados da Federação existe o costume de alongar feriados próximos ao final de semana. Acredita-se também que, além do Brasil, a solução proposta possa ser empregada com sucesso em outros países que também possuam esta cultura de feriados prolongados.

5.2 Contribuições

Dentre os resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se destacar as seguintes contribuições para a área de previsão de carga de curto prazo:

- Identificação de que o feriado prolongado é um fator relevante para a explicação do comportamento da carga para o dia pós feriado em regiões onde a prática de estender os feriados é adotada;
- A apresentação de uma solução de previsão para o dia pós feriado, que leva em conta este fator e que reduz significativamente o erro de um sistema de previsão legado diante de situações com baixa frequência de dados históricos, como a sexta-feira após o feriado.

5.3 Sugestões para trabalhos futuros

5.3.1 Estudar o efeito do feriado prolongado com feriados na terça-feira

A mesma situação de feriado prolongado para um feriado que ocorre em uma quinta-feira é repetida para um feriado na terça-feira. Porém, nesta situação, como o feriado ocorre no começo da semana, este é estendido para encontrar o domingo do final

de semana anterior, tornando a segunda-feira um “semi-feriado”. A cultura do feriado prolongado para um feriado na terça-feira pode ser a mesma de um feriado na quinta-feira, mas a sua adoção pela sociedade pode ser diferente. Para instituições onde nem todos os feriados nas terças-feiras e quintas-feiras podem ser prolongados, opta-se preferencialmente por prolongar os feriados na quinta-feira. Assim, o efeito do feriado sobre o dia entre este e o final de semana pode variar para um feriado na quinta-feira e um na terça-feira.

Além do estudo sobre a significância do efeito do feriado sobre a segunda-feira, ainda persiste o problema da previsão para este dia. Caso o efeito do feriado seja observado como significativo, assim como no caso da sexta-feira após o feriado, deve-se buscar uma alternativa que melhore a acurácia da previsão nesta situação especial. Todavia, a mesma alternativa empregada para a previsão da sexta-feira não pode ser diretamente aplicada para a segunda-feira pois, nesta situação, o feriado ocorre após o dia que sofreria sua influência.

5.3.2 Efeito do feriado sobre os outros dias

Feriados na quinta-feira provocam a ocorrência de feriados prolongados para alguns setores da sociedade brasileira. Este trabalho enfoca na previsão de carga na sexta-feira seguinte ao feriado na quinta-feira. No entanto, o feriado prolongado pode afetar o comportamento da carga de outros dias como o sábado ou mesmo a quarta-feira anterior ao feriado. Algumas instituições de ensino possuem atividades nos sábados, especialmente no período matutino. Como o setor educacional normalmente pratica a cultura dos feriados prolongados, isto pode provocar uma mudança no perfil de consumo na carga do sábado devido a um feriado na quinta-feira, dois dias atrás. O mesmo deve ocorrer para feriados na sexta-feira. Além dos dias após o feriado, a quarta-feira também pode ser afetada pelo feriado no dia seguinte. Diante de feriados prolongados, muitos residentes planejam viagens para aproveitar o período de descanso mais longo. Estas viagens, quanto o feriado ocorre na quinta-feira, normalmente se iniciam já na quarta-feira à noite. Principalmente em regiões com moradores nativos de outras localidades, o horário de pico noturno pode ser reduzido devido ao êxodo de moradores. Estas e outras situações podem afetar significativamente o comportamento

da carga necessitando de um tratamento específico para evitar erros de previsão elevados.

5.3.3 Previsão para outras situações atípicas

Além da situação estudada neste trabalho, o comportamento da carga pode sofrer influência de outros fatores que também possuem um conjunto de dados históricos pouco representativo. Estes fatores, se demonstrada a significância de seu efeito, também podem levar a erros elevados na previsão, quando não tratados adequadamente pelos modelos de previsão. Algumas destas situações já são conhecidas como situações atípicas que influenciam a carga, como o período natalino. Uma copa do mundo de futebol e o Carnaval também podem ser fatores importantes para explicar o comportamento da carga.

O aquecimento nas vendas do comércio frente a algumas datas também pode ser um dos fatores que influenciam no comportamento da demanda de energia elétrica. Muitas localidades adotam um período comercial mais longo à medida que se aproxima do dia das crianças e, principalmente, do Natal. O comércio, em vez de encerrar suas atividades às 19 horas, prolonga seu atendimento até às 21, 22 horas, inclusive durante o final de semana. Com isto, a queda no consumo de energia esperada com o fechamento do comércio é atrasada em algumas horas, agregando-se também com o pico de consumo noturno. Talvez este fator “alongamento do horário comercial” também seja um fator com efeito significativo sobre a carga. Porém, assim como o problema tratado neste trabalho, existe uma baixa frequência destas situações. Dependendo do dia da semana em que ocorre o dia festivo, o efeito sobre os dias anteriores pode ser diferente.

6 Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Estabelece de forma atualizada e consolidada, as disposições relativas à conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente. Resolução nº 505**, de 26 de novembro de 2001, Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2001505.pdf>. Acessado em: 24 de janeiro de 2008.

AMJADY, Nima. **Short-Term Bus Load Forecasting of Power Systems by a New Hybrid Method**. IEEE Transactions on Power Systems, v. 22, n. 1, p. 333-341, Fev. 2007.

BARBETTA, Pedro Alberto. **Estatística aplicada às Ciências Sociais**. 6 ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2006. p. 201-207.

BOX, George Edward Pelham; JENKINS, Gwilym M. **Time Series Analysis: Forecasting and Control**. 3 ed. Prentice Hall PTR, 1994. 592 p.

BRASIL. **Lei nº 605, de 5 de janeiro de 1949. Repouso semanal remunerado e o pagamento de salário nos dias feriados civis e religiosos**, 1949a, Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l0605.htm. Acessado em: 24 de janeiro de 2008.

BRASIL. **Lei No 662, de 6 de abril de 1949. Declara Feriados Nacionais os Dias 1º de Janeiro, 1º de Maio, 7 de Setembro, 15 de Novembro e 25 de Dezembro**, 1949b, Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l0662.htm. Acessado em: 24 de janeiro de 2008.

BRASIL. **Lei nº 9.093, de 12 de setembro de 1995. Dispõe sobre feriados**, 1995, Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9093.htm. Acessado em: 24 de janeiro de 2008.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA S.A. **Perfil**, 2006, Disponível em: <http://portal.celesc.com.br/portal/page/portal/institucional/perfil>. Acessado em: 06 de fevereiro de 2008.

CHATTOPADHYAY, Debabrata. **Daily Generation Scheduling: Quest for New Models**. IEEE Transactions on Power Systems, v. 13, n. 2, p. 624-629, Mai. 1998.

CHICCO, Gianfranco; NAPOLI, Roberto; PIGLIONE, Federico. **Load pattern clustering for Short-Term Load Forecasting of anomalous days**. IEEE Transactions on Power Systems, v. 20, n. 1, p. 408-415, Set. 2001.

FAN, Shu; CHEN, Luonan. **Short-Term Load Forecasting Based on an Adaptive Hybrid Method**. IEEE Transactions on Power Systems, v. 21, n. 1, p. 392-401, Fev. 2006.

FIDALGO, J. N.; LOPES, J. A Peças. **Load Forecasting Performance Enhancement When Facing Anomalous Events**. IEEE Transactions on Power Systems, v. 20, n. 1, p. 408-415, Fev. 2005.

FRITSCH, F. N; CARLSON, R. E.. **Monotone Piecewise Cubic Interpolation**. SIAM J. Numerical Analysis, v. 17, n. 1, p. 238-246, 1980.

GROSS, George; GALIANA, Francisco D. **Short-Term Load Forecasting**. Proceedings of the IEEE, v. 75, n. 12, p. 1558-1573, Dez. 1987.

HAGAN, Martin T.; MENHAJ, Mohammad B. **Training feedforward networks with the Marquardt algorithm**. Neural Networks, IEEE Transactions on, v. 5, n. 6, p. 989-993, Nov 1994.

HIPPERT, Henrique Steinherz; PEDREIRA, Carlos Eduardo; SOUZA, Reinaldo Castro. **Neural Networks for Short-Term Load Forecasting: A Review and Evaluation**. IEEE Transactions on Power Systems, v. 16, n. 1, p. 44-55, Fev. 2001.

HOR, Ching-Lai; WATSON, Simon J.; MAJITHIA, Shanti. **Analyzing the Impact of Weather Variables on Monthly Electricity Demand**. IEEE Transactions on Power Systems, v. 20, n. 4, p. 2078-2085, Nov. 2005.

KIM, Kwang-Ho; YOUN, Hyoung-Sun; KANG, Yong-Cheol. **Short-Term Load Forecasting for Special Days in Anomalous Load Conditions Using Neural Networks and Fuzzy Inference Method**. IEEE Transactions on Power Systems, v. 15, n. 2, p. 559-565, Mai. 2000.

LAMEDICA, R., et al. **A Neural Network based Technique For Short-Term Forecasting of Anomalous Load Periods**. IEEE Transactions on Power Systems, v. 11, n. 4, p. 1749-1756, Nov. 1996.

MONTGOMERY, Douglas C.. **Design and Analysis of Experiments**. 6a ed. Editora John Wiley & Song Inc, 2005. 643 p.

OLIVEIRA, Cláudio Magalhães. **Modelo Adaptativo para Previsão de Carga de Curto Prazo**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2004

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Submódulo 5.1: Consolidação da previsão de carga: visão geral**, de 10 de outubro de 2005a, Disponível em: http://www.ons.org.br/download/procedimentos/Subm%C3%B3dulo%205.1_v9.0.pdf. Acessado em: 01 de novembro de 2008.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Submódulo 5.4: Consolidação da previsão de carga para a programação diária da operação eletroenergética e para a programação de intervenções em instalações da rede de operação**, de 10 de outubro de 2005b, Disponível em:

http://www.ons.org.br/download/procedimentos/Subm%C3%B3dulo%205.4_v9.0.pdf.
Acessado em: 01 de novembro de 2008.

PARK, D. C., et al. **Electric Load Forecasting Using An Artificial Neural Network**. IEEE Transactions on Power Systems, v. 6, n. 2, p. 442-449, May 1991.

RUZIC, Slobodan; VUEKOVIC, Aca; NIKOLIC, Nikola. **Weather Sensitive Method for Short Term Load Forecasting in Electric Power Utility of Serbia**. IEEE Transactions on Power Systems, v. 18, n. 4, p. 1581-1586, Nov. 2003.

SENJYU, Tomonobu, et al. **Next Day Load Curve Forecasting Using Hybrid Correction Method**. IEEE Transactions on Power Systems, v. 20, n. 1, p. 102-109, Fev. 2005.

SRINIVASAN, Dipti; CHANG, C. S.; LIEW, A. C.. **Demand Forecasting Using Fuzzy Neural Computation, With Special Emphasis On Weekend And Public Holiday Forecasting**. IEEE Transactions on Power Systems, v. 10, n. 4, p. 1897-1903, Nov. 1995.

TOYODA, Junichi; CHEN, Mo-Shing; INOUE, Yukuyoshi. **An Application of State Estimation to Short-Term Load Forecasting, Part I: Forecasting Modeling**. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v. PAS-89, n. 7, p. 1678-1682, Set. 1970.